

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
 федеральное государственное автономное  
 образовательное учреждение высшего образования  
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Инженерная школа энергетики  
 Направление подготовки – 13.04.02 Электроэнергетика и электротехника  
 Отделение электроэнергетики и электротехники

### МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
<b>Регулируемый асинхронный электропривод дожимной компрессорной станции ГТУ</b>

УДК: 62-83-523:621.51

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5AM87	Майков Роман Андреевич		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Данекер Валерий Аркадьевич	к.т.н.		

### КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент отделения социально-гуманитарных наук	Спицына Любовь Юрьевна	к.э.н., доцент		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель отделения общетехнических дисциплин	Фех Алина Ильдаровна			

### ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
13.04.02 «Электроэнергетика и электротехника»	Гарганеев А.Г.	Профессор д.т.н		

Томск – 2020

## Планируемые результаты обучения по ООП

Код	Результат обучения*	Требования ФГОС ВО, СУОС, критериев АИОР, и/или заинтересованных сторон
Общие по направлению подготовки		
P1	Совершенствовать и развивать свой интеллектуальный и общекультурный уровень, добиваться нравственного и физического совершенствования своей личности, обучению новым методам исследования, к изменению научного и научно-производственного профиля своей профессиональной деятельности.	Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ (УК-1,6; ОПК-1, 2), Критерий 5 АИОР (п. 2.1, 2.5), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI, требования профессиональных стандартов (40.011, «Специалист по научно-исследовательским и опытно-конструкторским разработкам»)
P2	Свободно пользоваться русским и иностранным языками как средством делового общения, способностью к активной социальной мобильности.	Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ (УК-4,5; ОПК-3), Критерий 5 АИОР (п. 2.2), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
P3	Использовать на практике навыки и умения в организации научно-исследовательских и производственных работ, в управлении коллективом, использовать знания правовых и этических норм при оценке последствий своей профессиональной деятельности.	Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ (УК-2,3; ОПК-1; ПК-1, 2, 3), Критерий 5 АИОР (п. 2.6), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
P4	Иметь представление о методологических основах научного познания и творчества, роли научной информации в развитии отрасли, навыки проведения работ с привлечением современных информационных технологий, синтезировать и критически резюмировать информацию.	Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ (УК-1,6; ОПК-1, 4), Критерий 5 АИОР (п. 1.6, 2.3), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI, требования профессиональных стандартов (40.011, «Специалист по научно-исследовательским и опытно-конструкторским разработкам»)
P5	Применять углубленные естественнонаучные, математические, социально-экономические и профессиональные знания в междисциплинарном контексте в инновационной инженерной деятельности в области электроэнергетики и электротехники.	Требования ФГОС ВО (УК-5, ОПК-4; ПК- 4-6), Критерий 5 АИОР (п.1.1), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI, требования профессиональных стандартов (40.011, «Специалист по научно-исследовательским и опытно-конструкторским разработкам»)
По профилям подготовки		
P6	Ставить и решать инновационные задачи инженерного анализа в области электроэнергетики и электротехники с использованием глубоких фундаментальных и специальных знаний, аналитических методов и сложных моделей в условиях неопределенности.	Требования ФГОС ВО (ПК-1, 7,8), Критерий 5 АИОР, согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI, требования профессиональных стандартов (20.003, «Работник по эксплуатации оборудования релейной защиты и противоаварийной автоматики гидроэлектростанций/гидроаккумулирующих электростанций»)

P7	Выполнять инженерные проекты с применением оригинальных методов проектирования для достижения новых результатов, обеспечивающих конкурентные преимущества электроэнергетического и электротехнического производства в условиях жестких экономических и экологических ограничений.	Требования ФГОС ВО (ПК-2, 9, 10, 11), Критерий 5 АИОР, согласованный с требованиями международных стандартов EU- ACEи FEANI, требования профессиональных стандартов (40.011, «Специалист по научно-исследовательским и опытно-конструкторским разработкам»)
P8	Проводить инновационные инженерные исследования в области электроэнергетики и электротехники, включая критический анализ данных из мировых информационных ресурсов.	Требования ФГОС (ПК-3, 13, 14, 15, 24-26), Критерий 5 АИОР, согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI, требования профессиональных стандартов (20.003, «Работник по эксплуатации оборудования релейной защиты и противоаварийной автоматики гидроэлектростанций/гидроаккумулирующих электростанций»)
P9	Проводить технико-экономическое обоснование проектных решений; выполнять организационно-плановые расчеты по созданию или реорганизации производственных участков, планировать работу персонала и фондов оплаты труда; определять и обеспечивать эффективные режимы технологического процесса.	Требования ФГОС (ПК-11, 12, 13, 16-21, 24, 26), Критерий 5 АИОР (п. 1.5, 2.1), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
P10	Проводить монтажные, регулировочные, испытательные, наладочные работы электроэнергетического и электротехнического оборудования.	Требования ФГОС (ПК-22, 23, 25, 26), Критерий 5 АИОР (п. 1.5), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
P11	Осваивать новое электроэнергетическое и электротехническое оборудование; проверять техническое состояние и остаточный ресурс оборудования и организовывать профилактический осмотр и текущий ремонт.	Требования ФГОС (ПК-27, 28), Критерий 5 АИОР (п. 1.4), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI, требования профессиональных стандартов (20.003, «Работник по эксплуатации оборудования релейной защиты и противоаварийной автоматики гидроэлектростанций/гидроаккумулирующих электростанций»)
P12	Разрабатывать рабочую проектную и научно-техническую документацию в соответствии со стандартами, техническими условиями и другими нормативными документами; организовывать метрологическое обеспечение электроэнергетического и электротехнического оборудования; составлять оперативную документацию, предусмотренную правилами технической эксплуатации оборудования и организации работы.	Требования ФГОС (ПК-29, 30), Критерий 5 АИОР (п. 1.3, 2.1), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI ,требования профессиональных стандартов (40.011, «Специалист по научно-исследовательским и опытно-конструкторским разработкам»)

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
 федеральное государственное автономное  
 образовательное учреждение высшего образования  
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Инженерная школа энергетики  
 Направление подготовки – 13.04.02 Электроэнергетики и электротехника  
 Отделение электроэнергетики и электротехники

УТВЕРЖДАЮ:  
 Руководитель ООП  
 \_\_\_\_\_ Гарганеев А.Г.  
 (Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

### ЗАДАНИЕ на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Магистерской диссертации
--------------------------

Студенту:

Группа	ФИО
5AM87	Майкову Роману Андреевичу

Тема работы:

Регулируемый асинхронный электропривод дожимной компрессорной станции ГТУ	
Утверждена приказом проректора-директора (директора) (дата, номер)	27.02.2020 № 58-29/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:	08.06.2020 г.
--	---------------

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

<p><b>Исходные данные к работе</b> (наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</p>	<p>Регулируемый асинхронный электропривод дожимной компрессорной станции ГТУ Материалы производственной практики, техническая литература, техническая документация</p>
<p><b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b> (аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</p>	<p>Титульный лист Задание Реферат Введение Раздел 1 Общие сведения об изделии. Назначение и принцип действия ДКС Раздел 2 Расчет и выбор оборудования регулируемого электропривода Раздел 3, 4, 5, 6 Разработка и исследование моделей электропривода Раздел 7 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение Раздел 8 Социальная ответственность Заключение Список литературы</p>
<p><b>Перечень графического материала</b> (с точным указанием обязательных чертежей)</p>	<p>- функциональная схема электропривода; -имитационная модель; -графики переходных процессов электропривода</p>
<p><b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b> (с указанием разделов)</p>	
<p><b>Раздел</b></p>	<p><b>Консультант</b></p>
<p>Основное исследование</p>	<p>Данекер В.А.</p>
<p>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</p>	<p>Спицына Л.Ю.</p>
<p>Социальная ответственность</p>	<p>Фех А.И.</p>
<p>Иностранный язык</p>	<p>Качалов Н.А.</p>
<p><b>Названия разделов, которые должны быть написаны на иностранном языке:</b></p>	
<p>Раздел 1 Общие сведения об изделии. Назначение и принцип действия ДКС</p>	
<p>Раздел 2 Расчет и выбор оборудования регулируемого электропривода</p>	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	10.02.2020 г.
--	---------------

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Данекер В.А.	к.т.н		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5AM87	Майков Р.А.		

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
 федеральное государственное автономное  
 образовательное учреждение высшего образования  
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Инженерная школа энергетики

Направление подготовки – 13.04.02 Электроэнергетики и электротехника

Отделение электроэнергетики и электротехники

Период выполнения осенний/ весенний семестр 2019/2020 учебного года

Форма представления работы:

Магистерская диссертация
--------------------------

### КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН выполнения выпускной квалификационной работы

Срок сдачи студентом выполненной работы:	08.06.2020
--	------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (моду- ля)
10.03.2020	Календарное планирование работ по теме	3
12.03.2020	Описание объекта исследования	3
20.03.2020	Подбор и изучение материалов по теме	3
22.03.2020	Составление и утверждение технического задания	3
28.03.2020	Расчет энергетических параметров	3
11.04.2020	Исследование работоспособности электропривода	6
15.04.2020	Анализ полученных данных	3
25.04.2020	Контроль качества выполнения проекта и консультирование студента	3
02.05.2020	Оценка эффективности проделанной работы	3
10.05.2020	Технико-экономические расчеты	3
12.05.2020	Вопросы экологической безопасности	3
15.05.2020	Составление пояснительной записки	4
22.05.2020	Итог	40

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Данекер В.А.	к.т.н.		

**СОГЛАСОВАНО:**

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
13.04.02 «Электроэнергетика и электротехника»	Гарганеев А.Г.	Профессор д.т.н.		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА  
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОС-  
БЕРЕЖЕНИЕ»**

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
5AM87	Майкову Роману Андреевичу

<b>Школа</b>	<b>ИШЭ</b>	<b>Отделение школы (НОЦ)</b>	
<b>Уровень образования</b>	Магистр	<b>Направление/специальность</b>	Электроэнергетика и Электротехника

**Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:**

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Общая сумма всех затрат на выполнение проекта – не более 1 050 000 руб.; В т.ч. затраты на оплату труда – не более 300 000 руб.
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	- в соответствии с ГОСТ 14.322-83 «Нормирование расхода материалов» и ГОСТ Р 51541-99 «Энергосбережение. Энергетическая эффективность» В соответствии с ГОСТ 14.322-83 «Нормирование расхода материалов» и ГОСТ Р 51541-99 «Энергосбережение. Энергетическая эффективность» - минимальный размер оплаты труда в 2020 году составляет 12130 руб. 45 % материальные расходы 30 % расходы на оплату труда 16% накладные расходы 30% районный коэффициент
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Отчисления на социальные нужды – 30%; норма амортизации – 0,33; расходы на командировки – 10 %; накладные расходы – 16 %; Социальное страхование – 30%

**Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:**

1. Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ	- Потенциальные потребители результатов проекта - Формирование вариантов проектного решения проблем с учетом потерь электроэнергии
2. Разработка устава научно-технического проекта	- Допущения и ограничения во время производства работ - Высокоуровневое требование к проекту - Создание нововведения, получение результата по завершении проекта
3. Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок	- Планирование работ по проекту - Расчет бюджета затрат на проектирование и реконструкцию оборудования - Расчет капитальных вложений в основные средства
4. Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности	- Определение экономической эффективности исследования

<b>Перечень графического материала</b> (с точным указанием обязательных чертежей):	
1. <i>«Портрет» потребителя результатов НТИ</i> 2. <i>Сегментирование рынка</i> 3. <i>Оценка конкурентоспособности технических решений</i> 4. <i>Диаграмма FAST</i> 5. <i>Матрица SWOT</i> 6. <i>График проведения и бюджета НТИ</i> 7. <i>Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НТИ</i> 8. <i>Потенциальные риски</i>	
<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>	09.03.20 г.

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент отделения социально-гуманитарных наук	Спицына Любовь Юрьевна	к.э.н., доцент		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5AM87	Майков Роман Андреевич		



## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
5AM87	Майкову Роману Андреевичу

<b>Школа</b>	<b>Инженерная школа энергетики</b>	<b>Отделение школы (НОЦ)</b>	<b>ОЭЭ</b>
<b>Уровень образования</b>	Магистратура	<b>Направление</b>	13.04.02 Электроэнергетика и электротехника

Тема ВКР:

Регулируемый асинхронный электропривод дожимной компрессорной станции ГТУ.

**Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:**

1. Характеристика объекта исследования.	Объектом исследования являются технические решения по разработке имитационной модели частотно регулируемого электропривода двигателя дожимной компрессорной станции (ДКС).
---	--

**Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:**

<b>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.</b>	<p>Рассмотреть специальные правовые нормы трудового законодательства ;организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны. ГОСТ 12.0.003-2015: Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Опасные и вредные производственные факторы. Классификация; СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03: Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий;</p> <p>ГОСТ 30494-2011: Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях; СанПиН 2.2.4.1191-03: Электромагнитные поля в производственных условиях.</p>
<b>2. Производственная безопасность</b> 2.1. Анализ потенциально возможных вредных и опасных факторов проектируемой производственной среды. 2.2. Разработка мероприятий по снижению воздействия вредных и опасных факторов	<p>Проанализировать потенциально возможные вредные и опасные факторы при разработке имитационной модели частотно регулируемого электропривода двигателя ДКС:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Отклонение показателей микроклимата;</li> <li>– Превышение уровня шума;</li> <li>– Отсутствие или недостаток естественного света;</li> <li>– Недостаточная освещенность рабочей зоны;</li> <li>– электробезопасность</li> </ul>
<b>3. Экологическая безопасность</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– анализ воздействия объекта на литосферу</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>– выбор наиболее типичной ЧС;</li> <li>– разработка превентивных мер по предупреждению ЧС;</li> <li>– разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий.</li> <li>– Пожаровзрывоопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения)</li> <li>– Пожаровзрывоопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения)</li> </ul>
--	---

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	09.03.2020г
--	-------------

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель отделения общетехнических дисциплин	Фех Алина Ильдаровна			

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5AM87	Майков Роман Андреевич		

## РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа содержит 132 страниц, 29 рисунков, 29 таблиц, 2 приложения, 19 источников.

Ключевые слова: газотурбинная установка (ГТУ), дожимная компрессорная станция (ДКС), регулируемый асинхронный электропривод (РАЭП), преобразователь частоты (ПЧ).

Объект исследования: РАЭП ДКС ГТУ.

Цель работы: разработка регулируемого асинхронного электропривода компрессора ДКС ГТУ по системе преобразователь частоты – асинхронный двигатель (ПЧ-АД), обладающего энерго - и ресурсоэффективностью.

В работе был рассмотрен и рассчитан частотно–регулируемый электропривод компрессора дожимной компрессорной станции ГТУ. На основе действующего оборудования, выбран электродвигатель, предназначенный для частотного регулирования, и преобразователь частоты, обеспечивающий требуемый набор функций управления. В качестве способа управления выбрано скалярное управление без датчика скорости. В ходе работы рассчитаны и построены электромеханические и механические характеристики электропривода и нагрузки, на основании которых была проведена проверка правильности выбора двигателя и преобразователя. Путем имитационного моделирования исследованы переходные процессы скорости и момента для режима пуска сброса и наброса нагрузки на валу двигателя.

В разделе «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» была определена рентабельность и цена РАЭП ДКС ГТУ.

В разделе «Социальная ответственность» были рассмотрены вопросы по охране труда и техники безопасности. Проанализированы вредные и опасные факторы.

Выпускная квалификационная работа выполнена в текстовом редакторе Microsoft Office Word 2007, имитационное моделирование выполнено в программной среде Matlab R2020a.

## **ПРИНЯТЫЕ СОКРАЩЕНИЯ**

АД – асинхронный двигатель.

АЭД – асинхронный электродвигатель.

РАЭП – регулируемый асинхронный электропривод.

ДКС – дожимная компрессорная станция.

ГТУ – газотурбинная установка.

СУ – система управления.

ПЧ – преобразователь частоты.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

РЕФЕРАТ .....	12
ПРИНЯТЫЕ СОКРАЩЕНИЯ .....	13
ВВЕДЕНИЕ: .....	17
1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ ОБ ИЗДЕЛИИ .....	20
1.1 Назначение и принцип действия ДКС .....	20
1.2 Анализ и классификация технологических переменных, управляющих воздействий, точек измерения, контроля и управления.....	24
1.3 Анализ взаимосвязи между технологическими переменными, определение основных требований к ведению процессов, формулирование критерия качества и цели управления.....	26
1.4. Общие технологические требования к ДКС ГТУ.....	27
2. РАСЧЕТ И ВЫБОР ОБОРУДОВАНИЯ РЕГУЛИРУЕМОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА.....	29
2.1 Расчетные параметры требуемого двигателя.....	29
2.2 Выбор типа преобразователя частоты и способа регулирования скорости. .....	35
3. РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ .....	38
3.1 Структурная схема силового канала электропривода .....	39
3.2 Функциональная схема частотно-регулируемого асинхронного электропривода со скалярным управлением. ....	40
3.3 Расчет параметров элементов структурной схемы силового канала электропривода.....	45
3.3.1 Расчет параметров инвертора, для имитационного моделирования в программной среде Matlab.....	45
3.3.2 Расчет параметров двигателя для имитационного моделирование в программной среде Matlab.....	45
3.4 Расчет естественных характеристик электродвигателя .....	46
3.4.1 Расчет естественной механической характеристики.....	46
3.4.2 Расчет естественной электромеханической характеристики .....	47
4. РАСЧЕТ И ПОСТРОЕНИЕ ИСКУССТВЕННЫХ МЕХАНИЧЕСКИХ И ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СИСТЕМЫ “ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ЧАСТОТЫ - АСИНХРОННЫЙ ДВИГАТЕЛЬ” .....	50

5. РАСЧЕТ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ ДЛЯ РЕЖИМА ПУСКА, НАБРОСА НАГРУЗКИ НА ВАЛУ ДВИГАТЕЛЯ ДЛЯ РАЗОМКНУТОЙ СИСТЕМЫ. ....	56
6. РАСЧЕТ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ ДЛЯ РЕЖИМА ПУСКА И НАБРОСА НАГРУЗКИ НА ВАЛУ ДВИГАТЕЛЯ СИСТЕМЫ “ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ЧАСТОТЫ – АСИНХРОННЫЙ ДВИГАТЕЛЬ” .....	62
7. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ .....	67
7.1 Сегментирование рынка.....	69
7.2 FAST-анализ .....	70
7.3 Диаграмма Исикава .....	73
7.4 Матрица SWOT .....	74
7.5 Разработка графика проведения научного исследования .....	77
7.6 «Портрет» потребителя результатов НТИ .....	81
7.6.1 Модернизация электропривода компрессора дожимной компрессорной станции (ДКС) газотурбинной установки (ГТУ).....	81
7.6.3 Затраты на монтаж нового оборудования .....	83
7.6.4 Материальные затраты.....	83
7.6.5 Затраты на оплату труда .....	84
7.6.6 Отчисления на социальные выплаты .....	85
7.6.7 Накладные расходы .....	85
7.6.8 Расчет эксплуатационных затрат.....	86
7.6.9 Расчет затрат на заработную плату обслуживающему персоналу до модернизации электропривода компрессора:.....	87
7.6.10 Отчисления на социальные выплаты .....	88
7.6.12 Определение технико-экономических показателей .....	89
7.7 Оценка конкурентоспособности и ресурсоэффективности проекта .....	92
8. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ .....	95
8.1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности .....	96
8.2. Производственная безопасность .....	97
8.3 Опасные факторы .....	99
8.4. Экологическая безопасность .....	104

8.5. Безопасность в чрезвычайных ситуациях .....	106
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	112
ПРИЛОЖЕНИЕ А .....	113
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ .....	131

## **ВВЕДЕНИЕ:**

На сегодняшний день, обеспечение доступной электроэнергией и теплом потребителя является актуальной задачей. Одним из способов обеспечить потребителя электроэнергией является использование газотурбинных установок (ГТУ).

В качестве топлива для ГТУ используется природный газ (ПГ). Газ смешивается с воздухом в камере сгорания ГТУ, где происходит возгорание топливовоздушной смеси. Струи раскаленного газа вращают лопасти турбины, которая вырабатывает электроэнергию.

Использование ПГ в качестве топлива для ГТУ без специальной подготовки не позволяет достичь номинальной мощности электростанции (ЭС) и приводит к износу оборудования. Для того, чтобы достигнуть ГТУ своей номинальной мощности, необходимо выполнить ряд требований. Существуют традиционные требования, такие как [2]:

- Очистка от механических примесей
- Обеспечение точек росы (по воде и углеводородам)
- Компонентный состав и метановое число топливного газа (ТГ)
- Обеспечение необходимого уровня давления ТГ в камере сгорания ГТУ

Для того, чтобы повысить качество ТГ для ГТУ, используют дожимные компрессорные станции (ДКС). Основным компонентом ДКС является компрессор, управляемый электроприводом.

Электропривод – это электромеханическая система, которая состоит из преобразователей электроэнергии, электромеханических и механических преобразователей, управляющих и информационных устройств и устройств сопряжения с внешними электрическими, механическими, управляющими и информационными системами, предназначенная для приведения в движение исполнительных органов рабочей машины и управления этим движением в целях осуществления технологического процесса. В данный момент времени,



этап развития современного электропривода характеризуется переходом от нерегулируемого электропривода к регулируемому [1].

**Цель выпускной квалификационной работы:** разработка регулируемого асинхронного электропривода компрессора ДКС ГТУ по системе преобразователь частоты – асинхронный двигатель (ПЧ-АД), обладающего энерго - и ресурсоэффективностью.

Для достижения поставленной цели необходимо решить ряд задач.

1. Провести критический анализ современного состояния электротехнического оборудования ГТУ.

В настоящее время система управления производительностью ДКС ГТУ состоит из:

- Цифровой контроллер;
- Байпасный клапан с электро-пнеumo-приводом;
- Винтовой компрессор с золотником.

Система специально подобрана для газотурбинного режима работы. Она состоит из двух замкнутых контуров управления. Первый контур контролирует положение золотника и позволяет управлять производительностью в диапазоне от 15 до 100%. Это обеспечивает высокую эффективность работы даже при частичных нагрузках. Второй контур – система управления байпасными клапанами, предотвращает превышение давления в компрессорной установке [2].

2. Провести анализ преимуществ и недостатков системы управления производительностью с использованием золотникового механизма.

Преимущества:

- Быстрая реакция и точность системы управления позволяют минимизировать (и в некоторых случаях даже исключить) объем буферного устройства для выходного газа.

Недостатки:

- Большие пусковые токи асинхронного электродвигателя (АЭД) в составе ДКС ГТУ;

- Большие потери электроэнергии;
- Большие топливные затраты.

Основным недостатком такой системы является то, что АЭД ДКС ГТУ потребляет номинальную мощность из сети при любом режиме работы ГТУ, т.е даже когда ГТУ не выдает свою максимальную мощность [2].

3. Разработать имитационную модель регулируемого асинхронного электропривода (РАЭП) ДКС ГТУ в программной среде Matlab. Регулирование скорости вращения АЭД осуществляется с помощью преобразователя частоты (ПЧ).

Научная новизна работы заключается в разработке оптимальных режимов работы РАЭП ДКС ГТУ в программной среде Matlab. Исследования, проведенные на разработанной имитационной модели, позволили определить оптимальные режимы работы РАЭП, заключающиеся в регулировании скорости вращения АЭД ДКС с помощью преобразователя частоты (ПЧ) в зависимости от выдаваемой мощности ГТУ.

Практическая ценность работы заключается:

- Снижение пусковых токов асинхронного электродвигателя (АЭД), на 10,5% от паспортного значения, в составе ДКС ГТУ;
- Снижение мощности потерь электроэнергии в среднем на 33 кВт;

Достоверность полученных результатов подтверждается корректностью сделанных допущений, построением моделей в профессиональной среде Matlab, расчетами в разделе ВКР «финансовый менеджмент и ресурсосбережение».

## 1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ ОБ ИЗДЕЛИИ

### 1.1 Назначение и принцип действия ДКС

Рассмотрим технологический процесс и технологическое оборудование подачи газа в камеру сгорания ГТУ.

В качестве дожимного компрессора применен маслозаполненный двух-роторный винтовой компрессор с регулированием производительности по системе ПЧ АД.

Схема ТП представлена на рисунке 1.1.1.



Рисунок 1.1.1. - Схема ТП

Схема технологического оборудования представлена на рисунке 1.1.2.

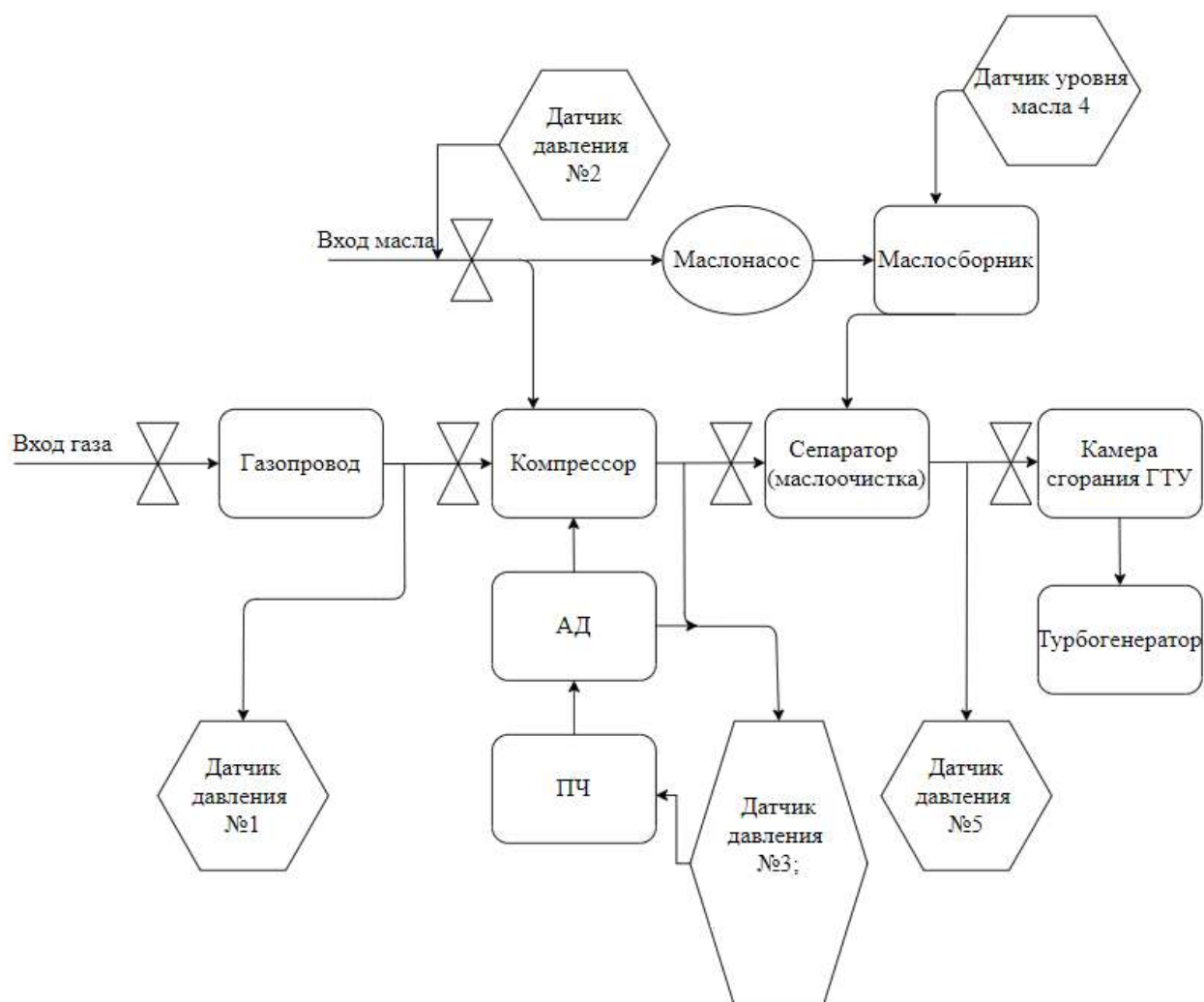


Рисунок 1.1.2. - Схема технологического оборудования.

Основное оборудование дожимной компрессорной станции:

- 1 – Газо-масляный сепаратор.
- 2 – Электродвигатель асинхронный.
- 3 – Винтовой компрессор.
- 4 – Блочный винтовой насос (маслонасос).

Упрощенная кинематическая схема винтового компрессора представлена на рисунке 1.1.3.

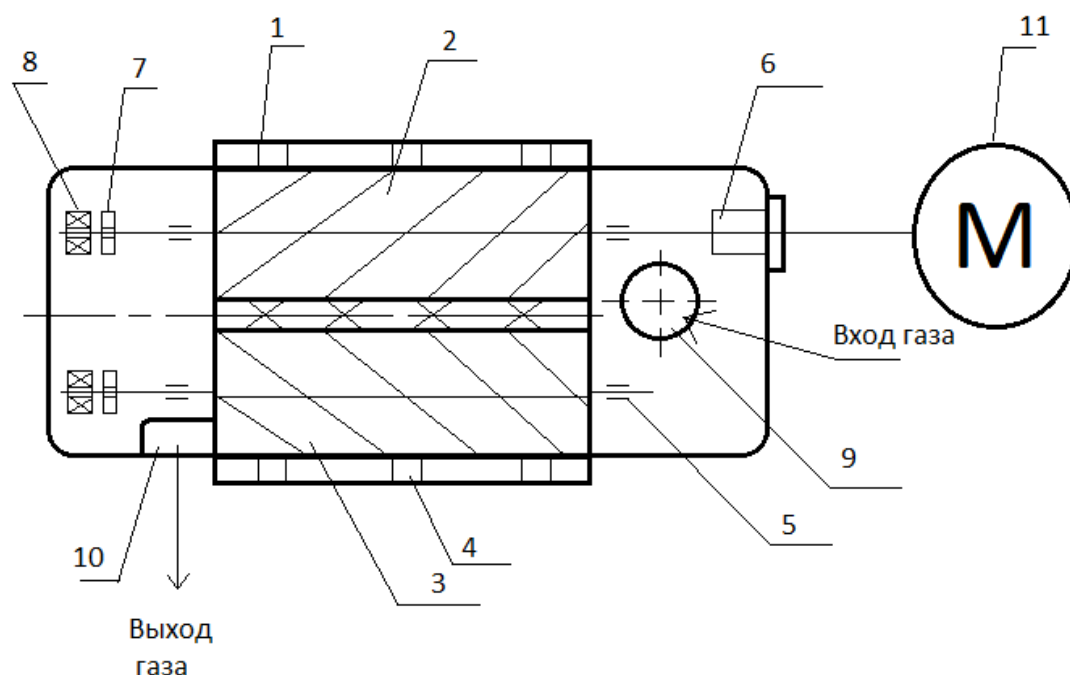


Рисунок 1.1.3 Упрощенная кинематическая схема винтового компрессора.

1 - корпус компрессора; 2 - ведущий ротор; 3 - ведомый ротор; 4 - рубашка охлаждения; 5 - опорные подшипники скольжения; 6 - сальник; разгрузочные поршни; 8 - упорные подшипники качения; 9 - окно всасывания; 10 - окно нагнетания; 11 – электродвигатель.

Описание ТП:

ТП подачи газа в камеру сгорания ГТУ.

Винтовой компрессор находится в составе автоматизированного комплекса Дожимная компрессорная станция (ДКС). Комплекс работает в составе энергоблока ГТУ.

Сжатие газа происходит в винтовом компрессоре с впрыском масла в область сжатия, что позволяет обеспечить уплотнение и смазку роторов, а также первичное охлаждение газа.

После сжатия в винтовом компрессоре газо-масляная смесь поступает на первую ступень сепарации в газо-масляный сепаратор, где происходит основное отделение масла от газа. После сепарации газ поступает в газо-жидкостный теплообменник, где происходит его охлаждение до заданной температуры, затем газ с остаточным содержанием масла поступает в газовый

фильтр сепаратор второй ступени, в котором происходит окончательная очистка газа от масла и механических примесей [2, 5].

Управление ДКС производится непосредственно через местные системы управления в отсеке управления каждого компрессора либо командами ПТК верхнего уровня.

Компрессорная установка оснащена электрическим приводом на базе асинхронного электродвигателя и ПЧ, системами смазки, охлаждения и фильтрации. Установка смонтирована в шумозащитном контейнере, оборудованном системами отопления, вентиляции, пожаробнаружения и пожаротушения, а также системой газообнаружения [5,10].

Описание технологического процесса (ТП) подачи топливной смеси в камеру сгорания ГТУ:

Система подачи газообразного топлива регулирует давление топлива и автоматически изменяет расход топлива в соответствии с требуемой мощностью турбины.

Система подачи газообразного топлива выполняет следующие функции:

- Управляемая подача газообразного топлива необходимого давления на форсунки газовой турбины.
- Немедленное отключение подачи ТГ в камеру сгорания турбины в аварийных ситуациях.

Газообразное топливо подается к турбине от штатного газопровода станции через узел регулирования давления – ДКС. Стандартная топливная система турбины рассчитана на использование природного газа.

Ротор компрессора динамически сбалансирован и имеет уравнивающий барабан для уменьшения осевых биений. Для предотвращения утечек газа установлены сбалансированные по давлению механические уплотнения. Оба ротора имеют косые зубья асимметричного профиля, которые находятся в одном корпусе и имеют друг к другу незначительный зазор. Веду-

ший ротор, приводимый двигателем, приводит в свою очередь ведомый ротор [2].

## **1.2 Анализ и классификация технологических переменных, управляющих воздействий, точек измерения, контроля и управления.**

Составление перечня измеряемых технологических переменных и управляющих воздействий, определение требуемой точности измерения и управления, а также среды и условий работы измерительных и регулирующих устройств:

Чувствительные части датчиков, контактирующие с внешней агрессивной средой, должны быть сделаны из коррозионностойких материалов или для защиты иметь разделитель среды.

Датчики, используемые в АСУ, обязаны соответствовать требованиям взрывобезопасности и иметь искробезопасные цепи.

Уровень защиты технических устройств от пыли и влаги должен быть не менее IP56.

За изменения производительности винтового компрессора отвечают параметры, указанные в таблице 1.2.1:

Таблица 1.2.1

$U, В$	$P_{вх}, кг / см^2$	$P_{вых}, кг / см^2$	$Q, м^3 / ч$
--------	---------------------	----------------------	--------------

Необходимые измерительные устройства:

- Датчик напряжения
- Датчик давления
- Расходомер

Основные датчики, характеристики датчиков и требования к датчикам представлены в таблице 1.2.1.

Таблица 1.2.2 Основные датчики, характеристики датчиков и требования к датчикам

1. Датчики давления	Характеристики и описание	Требования
<p>Производитель: ТЕПЛОКОМ</p> <p>Тип: ИД</p> <p>Назначение: Для преобразования значения давления газов и жидкостей в электрический выходной сигнал</p>	<p>Принцип действия датчиков основан на использовании тензоэффекта.</p> <p>ОСНОВНЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ</p> <p>Верхние пределы измерений, МПа 0,4; 0,6; 0,63; 1,0; 1,6; 2,8</p> <p>Пределы допускаемой основной приведенной погрешности, % <math>\pm 0,25</math>; <math>\pm 0,5</math>; <math>\pm 1,0</math></p> <p>Выходной сигнал, мА 4...20</p> <p>Напряжение питания, В 24</p> <p>Диапазон рабочих температур, °C -40...+70</p> <p>Датчик является взрыво- и искро-защищенным, IP68</p>	<p>Быстродействие</p> <p>Точность</p> <p>Скорость обработки данных</p>
2. Датчики уровня жидкостей	Характеристики и описание	Требования
<p>Производитель: STS</p> <p>Тип: TRAFAGEXL 8432</p> <p>Назначение: Для преобразования значения уровня жидкостей в электрический выходной сигнал</p>	<p>ОСНОВНЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ</p> <p>Диапазон измерений, м.в.с.:от 0...2 до 0...250</p> <p>Точность %ВПИ:<math>\pm 0,5\%</math>; <math>\pm 0,3\%</math></p> <p>Выходные сигналы:4...20мА</p> <p>Степень защиты:IP68</p> <p>Рабочая температура, °C:-20...+70</p> <p>Взрывозащита:искробезопасный</p>	<p>Быстродействие</p> <p>Точность</p> <p>Скорость обработки данных</p>
3. Датчики температуры	Характеристики и описание	Требования
<p>Производитель: Siemens</p> <p>Тип: HART</p> <p>Назначение: Для преобразования значения температуры в электрический выходной сигнал</p>	<p>Технология: реостатный</p> <p>Сборка: с фланцем взрывозащищенный</p> <p>Температура: МИН.: -30 °C (-22 °F)</p>	<p>Быстродействие</p> <p>Точность</p> <p>Скорость обработки данных</p>



### **1.3 Анализ взаимосвязи между технологическими переменными, определение основных требований к ведению процессов, формулирование критерия качества и цели управления.**

Необходимые технические характеристики компрессора для успешного возгорания топливной смеси и запуска ГТУ, с выходом последней в нормальный режим работы, максимально выдаваемая мощность которой равна 16 Мвт представлены в таблице 1.3.1.

Таблица 1.3.1.

Производительность, м <sup>3</sup> /час	0...800
Давление газа на входе, кгс/см <sup>2</sup>	2,0...5,0
Давление газа на выходе, кгс/см <sup>2</sup>	11,0...13,0
Температура газа на входе, °С	20,0...40,0
Температура газа на выходе, °С	+10...+35

Технологический процесс является взрывоопасным, так как сжимаемым топливом является природный газ. Поэтому двигатель, находящийся в составе электропривода, необходимо выбрать во взрывозащищенном исполнении.

Так же ДКС должна быть оборудована системами пожаротушения и обнаружения утечек газа.

#### 1.4. Общие технологические требования к ДКС ГТУ.

ГТУ не всегда выдает свою номинальную мощность 16 МВт. Существует график нагрузки, который отражает фактические требования к выдаваемой ГТУ мощности.

График нагрузки ГТУ, мощностью представлен на рисунке 1.4.1.

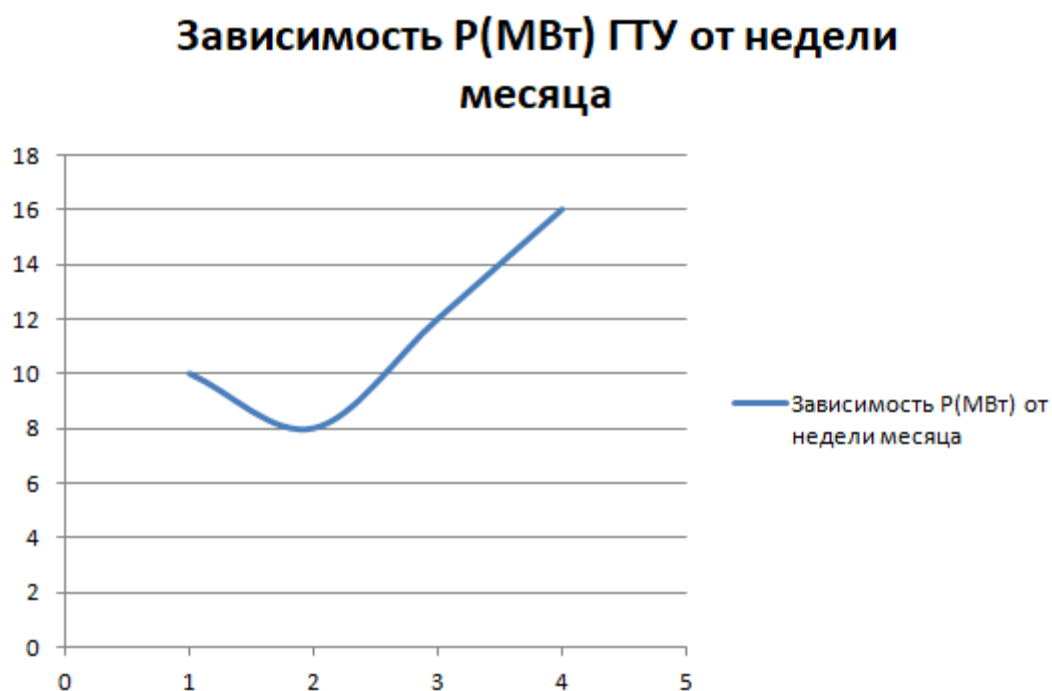


Рисунок 1.4.1 - График нагрузки ГТУ

Такой график нагрузок обусловлен разницей необходимой мощности, генерируемой в ЕЭС России.

Исходя из графика нагрузки ГТУ, видно, что необходимо регулировать вырабатываемую турбиной мощность.

Для этого целесообразно использовать РАЭП ДКС ГТУ.

Регулирование скорости вращения АЭД осуществляется с помощью преобразователя частоты (ПЧ).

Который, в свою очередь должен обладать следующими качествами:

- Диапазоном регулирования не менее 1:5;
- Высокой точностью регулирования;
- Быстродействием.

Потребителями ГТУ являются:

- Секция шин 6 кВ (собственные нужды);
- Трансформаторы собственных нужд (ТСН) ГТУ;
- Линия электропередач 35 кВ (ЛЭП -35кВ в ЕЭС);

Вывод:

В этом разделе были рассмотрены назначение и принцип действия ДКС ГТУ. Составлены схемы технологического процесса (ТП) и схема технологического оборудования. Проанализированы технологические переменные, управляющие воздействия. Рассмотрен график нагрузки ГТУ, на основании которого принято решение о целесообразности использования РАЭП ДКС ГТУ.

## 2. РАСЧЕТ И ВЫБОР ОБОРУДОВАНИЯ РЕГУЛИРУЕМОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА

Необходимые технические характеристики компрессора для успешного возгорания топливной смеси и запуска ГТУ, с выходом последней в нормальный режим работы, максимально выдаваемая мощность которой равна 16 Мвт представлены в таблице 2.1.

Таблица 2.1.

Производительность, м <sup>3</sup> /час	0...800
Давление газа на входе, кгс/см <sup>2</sup>	2,0...5,0
Давление газа на выходе, кгс/см <sup>2</sup>	11,0...13,0

Основным звеном, определяющим возможность улучшения качественных показателей работы компрессора, является используемый ЭД с соответствующей системой управления. Исходными данными для выбор электродвигателя являются характеристики компрессора, приведенные в таблице 1.3.1.

Необходимо выбрать асинхронный электродвигатель, который удовлетворит выше упомянутые требованиям по обеспечению необходимого уровня давления. Регулирование частоты вращения АД обеспечивается применением соответствующего преобразователя частоты.

### 2.1 Расчетные параметры требуемого двигателя.

Рассчитаем необходимую мощность электродвигателя, исходя из данных, приведенных в таблице 1.3.1.

$$P_{ЭД} = k_3 \cdot \frac{Q \cdot A}{\eta_k \cdot \eta_n}$$

где Q – максимальная производительность, м<sup>3</sup>/с; A - работа изотермического и адиабатического сжатия 1 м<sup>3</sup> атмосферного воздуха, Дж/м<sup>3</sup> (350 Дж/м<sup>3</sup> при давлении 13 кгс/см<sup>2</sup>);  $\eta_k$  - индикаторный КПД компрессора, равный 0,6-0,8;  $\eta_n$  - КПД передачи равный 0,8-0,9;  $\eta_3$  - коэффициент, равный 1,1-1,3 [3, 5, 10].

$$P_{эд} = 1,3 \cdot \frac{0,22 \cdot 350}{0,68 \cdot 0,78} = 188,725 \text{ кВт}$$

Выбираем взрывозащищенный асинхронный электродвигатель: АИМУ 315 280 М2. Асинхронный электродвигатель обладает рядом преимуществ, таких как:

- Высокая надежность
- Доступность обслуживания
- Относительная простота системы управления

Производитель: ОАО «Орлан».

Габаритно – присоединительные размеры ЭД АИМУ 315 280 М2 представлены на рисунке 2.1.1.

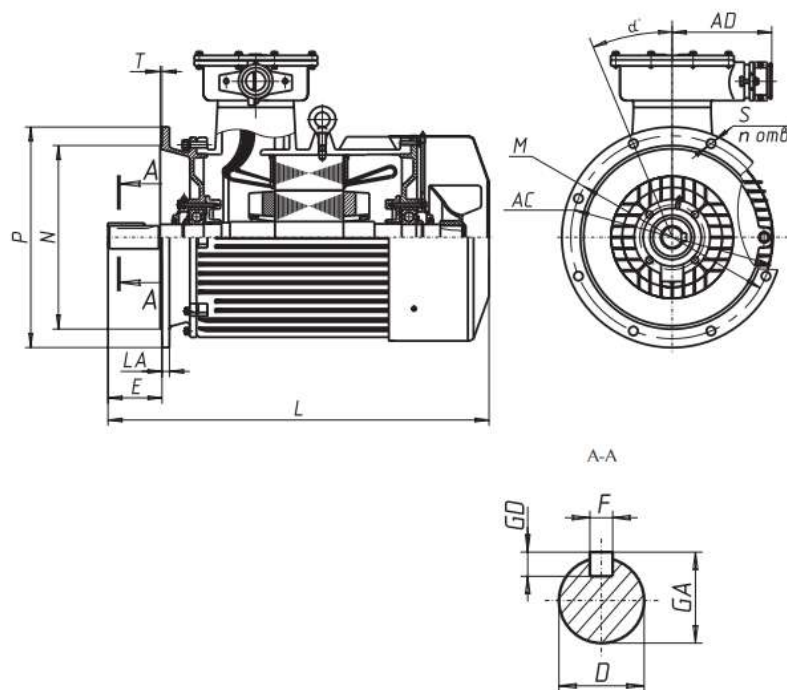


Рисунок 2.1.1. – габаритно присоединительные размеры ЭД АИМУ 315 280 М2.

Таблица 2.1.1 Паспортные данные электродвигателя

Типо размер	$n_0, \frac{\text{об}}{\text{мин}}$	$U_{1H}, \text{В}$	$P_{\text{дв.н}}, \text{кВт}$	При номинальной на- грузки			$J_{\text{дв}}, \text{кг} \cdot \text{м}^2$
				$s_H, \%$	$\cos \varphi_H$	$\eta_H, \%$	
АИМУ 315 М2	3000	380	200	0,91	0,92	94,8	2,5

Продолжение таблицы 2.1.1

$m_k = \frac{M_{\text{макс}}}{M_H}$	$m_{\Pi} = \frac{M_{\text{пуск}}}{M_H}$	$m_M = \frac{M_{\text{мин}}}{M_H}$	$K_{i\text{дв}} = \frac{I_{\text{пуск}}}{I_H}$
2,2	1,8	0,8	7,2

Синхронная угловая частота вращения двигателя

$$\omega_0 = \frac{\pi \cdot n_0}{30} = \frac{3,14 \cdot 3000}{30} = 314,159 \frac{\text{рад}}{\text{с}}.$$

Номинальная скорость вращения двигателя

$$n_{\text{дв.н}} = (1 - s_H) \cdot n_0 = (1 - 0,0091) \cdot 3000 = 2972 \frac{\text{об}}{\text{мин}};$$

$$\omega_{\text{дв.н}} = \frac{n_{\text{дв.н}}}{9,55} = \frac{2972}{9,55} = 311,3 \frac{\text{рад}}{\text{с}}.$$

Номинальный момент двигателя

$$M_{\text{дв.н}} = \frac{P_{\text{дв.н}} \cdot 10^3}{\omega_{\text{дв.н}}} = \frac{200 \cdot 10^3}{311,3} = 642,46 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Номинальное фазное напряжение и номинальный фазный ток статора. Для определения номинального фазного тока необходимо знать схему соединения обмоток статора. Соединение обмоток соединение Y.

$$U_{1\text{фн}} = \frac{U_{1\text{лн}}}{\sqrt{3}} = \frac{380}{\sqrt{3}} = 220 \text{ В}.$$

$$I_{1\text{фн}} = I_{1\text{лн}} = \frac{P_{\text{дв.н}}}{3 \cdot U_{1\text{фн}} \cdot \cos \varphi_H \cdot \eta_H} = \frac{200 \cdot 10^3}{3 \cdot 220 \cdot 0,91 \cdot 0,948} = 347,448 \text{ А}.$$

Примечание:  $I_{1\text{ЛН}}$  – ток, потребляемый двигателем из сети в номинальном режиме работы.

Максимальный потребляемый ток двигателя при прямом пуске

$$I_{1\text{макс}} = I_{1\text{ЛН}} \cdot K_{i\text{дв}} = 347,448 \cdot 7,1 = 2466,8 \text{ А.}$$

Критический момент двигателя на естественной характеристике

$$M_k = m_k \cdot M_{\text{дв.н}} = 2,2 \cdot 642,46 = 1413,4 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Пусковой момент двигателя при прямом пуске

$$M_{\text{дв.пуск}} = m_{\text{п}} \cdot M_{\text{дв.н}} = 1,8 \cdot 642,46 = 1156,42 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Определение параметров схемы замещения двигателя:

Наиболее простой и удобной для инженерных расчетов асинхронного двигателя является Т-образная схема замещения, представленная на рисунке 2.1.2 [2].

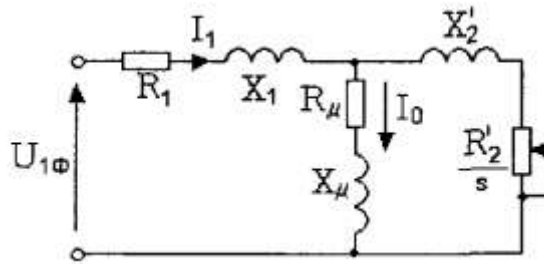


Рисунок 2.1.2 Схема замещения асинхронного двигателя

Ток фазы статора при частичной нагрузке

$$I_{1p*} = \frac{p^* \cdot P_{\text{дв.н}}}{\sqrt{3} \cdot U_{1\text{фн}} \cdot \cos \varphi_{p*} \cdot \eta_{p*}} = \frac{0,75 \cdot 200000}{\sqrt{3} \cdot 220 \cdot 0,907 \cdot 0,94} = 264,7 \text{ А},$$

где  $\cos \varphi_{p*} = 0,907$  – коэффициент мощности при частичной нагрузке [2];

$\eta_{p*} = 0,94$  – КПД при частичной нагрузке [2];

$p^* = 0,75$  – коэффициент загрузки двигателя [2].

Ток холостого хода асинхронного двигателя

$$I_0 = I_{1H} \cdot \sqrt{\frac{\left(\frac{I_{1p*}}{I_{1H}}\right)^2 \cdot \left[\frac{p^* \cdot (1 - s_H)}{(1 - p^* \cdot s_H)}\right]^2}{1 - \left[\frac{p^* \cdot (1 - s_H)}{(1 - p^* \cdot s_H)}\right]^2}} = 70,982 \text{ A}$$

Из формулы Клосса определим критическое скольжение

$$s_K = s_H \cdot \frac{m_k + \sqrt{(m_k)^2 - [1 - 2 \cdot s_H \cdot \beta \cdot (m_k - 1)]}}{1 - 2 \cdot s_H \cdot \beta \cdot (m_k - 1)} = 0.039,$$

где  $\beta$  – коэффициент, характеризующий соотношение активных сопротивлений статора и ротора, принимаем  $\beta = 1$ .

Активное сопротивление ротора, приведенное к обмотке статора асинхронного двигателя

$$R_2' = \frac{3 \cdot U_{1\Phi H}^2 \cdot (1 - s_H)}{2 \cdot m_k \cdot P_{\text{дв.н}} \cdot C_1^2 \cdot \left(\beta + \frac{1}{s_K}\right)} = 0.00591 \text{ Ом},$$

где  $C_1 = 1 + \frac{I_0}{2 \cdot K_{i\text{дв}} \cdot I_{1\text{дв}}} = 1.015$  – коэффициент, характеризующий со-

отношение  $\frac{X_\mu + X_{1\delta}}{X_\mu}$ ;

Активное сопротивление обмотки статора

$$R_1 = C_1 \cdot R_2' \cdot \beta = 0,006 \text{ Ом}.$$

Определим параметр  $\gamma$ , который позволяет найти индуктивное сопротивление короткого замыкания  $X_{\text{кн}}$

$$\gamma = \sqrt{(1 / s_K^2) - \beta^2} = \sqrt{(1 / 0.039^2) - 1^2} = 25,7,$$

тогда, индуктивное сопротивление короткого замыкания

$$X_{\text{кн}} = \gamma \cdot C_1 \cdot R_2' = 0.155 \text{ Ом}.$$

Индуктивное сопротивление обмотки статора

$$X_{1\delta} = 0.42 \cdot X_{\text{кн}} = 0.065 \text{ Ом}.$$



Индуктивность обмотки статора, обусловленная потоком рассеяния, в номинальном режиме

$$L_{1\delta} = \frac{X_{1\delta}}{2 \cdot \pi \cdot f_{1H}} = 2,071 \cdot 10^{-4} \text{ Гн. .}$$

Приведенное к обмотке статора индуктивное сопротивление рассеяния обмотки ротора в номинальном режиме

$$X'_{2\delta} = 0.58 \cdot \frac{X_{KH}}{C_1} = 0.089 \text{ Ом. .}$$

Приведенная индуктивность обмотки ротора, обусловленная потоком рассеяния, в номинальном режиме

$$L'_{2\delta} = \frac{X'_{2\delta}}{2 \cdot \pi \cdot f_{1H}} = 2,817 \cdot 10^{-4} \text{ Гн. .}$$

ЭДС ветви намагничивания  $E_1$ , наведённая потоком воздушного зазора в обмотке статора в номинальном режиме,

$$E_1 = \sqrt{(U_{1H} \cdot \cos \varphi - R_1 \cdot I_{1H})^2 + (U_{1H} \cdot \sin \varphi - X_{1\delta} \cdot I_{1H})^2} = 210,171 \text{ В,}$$

тогда индуктивное сопротивление намагничивания

$$X_{\mu} = \frac{E_1}{I_0} = 2,803 \text{ Ом. .}$$

Результирующая индуктивность, обусловленная магнитным потоком в воздушном зазоре

$$L_{\mu} = \frac{X_{\mu}}{2 \cdot \pi \cdot f_{1H}} = 0.00892 \text{ Гн. .}$$

### 2.1.2 Проверка адекватности расчетных параметров двигателя

При найденных параметрах рассчитываются значения номинального электромагнитного момента двигателя  $M_{\text{эм.н}}$  и  $M_{\text{эм.н}}^*$ :

$$M_{\text{эм.н}}(s_{\text{н}}) = M_{\text{эм.н}} = \frac{3 \cdot U_{1\text{фн}}^2 \cdot R_2'}{\omega_0 \cdot s_{\text{н}} \cdot \left[ (X_{\text{кн}})^2 + \left( R_1 + \frac{R_2'}{s_{\text{н}}} \right)^2 + \left( \frac{R_1 \cdot R_2'}{s_{\text{н}} \cdot X_{\mu}} \right)^2 \right]} = 660,9 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$M_{\text{эм.н}}^* = \frac{3}{2} \cdot z_p \cdot \frac{L_{\mu}}{(L_{\mu} + L_{2\delta})} \cdot \Psi_{2\text{н}} \cdot \sqrt{2} \cdot \sqrt{I_{1\text{н}}^2 - I_0^2} = 660,048 \text{ Н} \cdot \text{м},$$

$$\text{где } \Psi_{2\text{н}} = \sqrt{2} \cdot I_0 \cdot L_{\mu} = 0.928 \text{ Вб}.$$

Должны выполняться условия:

$$M_{\text{эм.н}}^* \approx M_{\text{эм.н}};$$

$$M_{\text{эм.н}}^* \leq (1.05 \div 1.1) \cdot M_{\text{дв.н}} = (1.05 \div 1.1) \cdot 642,466 = (674,5 \div 706,713) \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Как видно из представленных данных по результатам расчета эти условия выполняются [1].

Параметры схемы замещения электродвигателя сведены в таблице 2.1.2 [6, 9].

Таблица 2.1.2 Параметры схемы замещения электродвигателя

$R_1$ , Ом	$X_{1\delta}$ , Ом	$L_{1\delta}$ , Гн	$X_{\mu}$ , Ом	$L_{\mu}$ , Гн	$R_2'$ , Ом	$X_{2\delta}'$ , Ом	$L_{2\delta}'$ , Гн	$X_{\text{кн}}$ , Ом
0,006	0,065	$2,07 \cdot 10^{-4}$	2,748	$0,0087$	0.006	0,088	$2,8 \cdot 10^{-4}$	0.155

## 2.2 Выбор типа преобразователя частоты и способа регулирования скорости.

При выборе преобразователя частоты для трехфазного асинхронного двигателя с номинальным напряжением фазных обмоток 220 В и соединением обмоток по схеме Y следует руководствоваться приведёнными ниже рекомендациям [1].

1. Параметры питающей сети: 3-х фазная сеть 380/220 В, 50 Гц.

2. Выходные параметры преобразователя частоты:

3 фазы;

максимальное выходное (линейное) напряжение 380 В;

максимальная выходная частота преобразователя

$$f_{п.макс} > 50 \cdot \frac{\omega_{дв.макс}}{\omega_0 \cdot (1 - s_K)} = 50 \cdot \frac{314,15}{314,15 \cdot (1 - 0,039)} = 52,02 \text{ Гц}$$

минимальная выходная частота преобразователя

$$f_{п.мин} < 50 \cdot \frac{\omega_{зад.мин}}{\omega_0} = 50 \cdot \frac{31,4}{314,15} = 5 \text{ Гц} .$$

Выбираем преобразователь по номинальному (длительно допустимому)

току  $I_{и.н}$  и максимальному (кратковременно допустимому) току

$I_{и.макс} = I_{и.н} \cdot k_{иИ}$ , где  $k_{иИ}$  – коэффициент допустимой перегрузки инвертора

по току, по следующим условиям:

в однозонном электроприводе

$$I_{и.н} \geq I_{1лн} \cdot \frac{M_{сприв.макс}}{M_{дв.н}} \geq 347,44 \cdot \frac{642,46}{642,46} = 347,44 \text{ А} ;$$

$$I_{и.макс} \geq I_{1лн} \cdot \frac{2 \cdot M_{сприв.макс}}{M_{дв.н}} \geq 347,44 \cdot \frac{2 \cdot 642,46}{642,46} = 694,88 \text{ А} .$$

Принимаем способ управления – скалярное с датчиком скорости. Согласно выбранному способу управления выбираем преобразователь.

Параметры выбранного преобразователя частоты сведены в таблице 2.2.1.

Таблица 2.2.1. Паспортные данные преобразователя частоты фирмы SIMENS Micromaster 430

Типоразмер	Макс мощность двигателя, кВт	Номинальный выходной ток, А	Базовый ток нагрузки, А	Ток перегрузки, А	Номинальный ток звена постоянного тока, А	Потребляемый ток, А	Потери при 2,5 кГц, кВт	Примерный вес, кг
70.33	200	370	337	694	440	407	5,05	180

Выбор несущей частоты инвертора  $f_{\text{ШИМ}}$  осуществляется в соответствии с рекомендациями фирмы-производителя для выбранного типа преобразователя с учетом фактического тока загрузки [4, 7].

Принимаем несущую частоту инвертора  $f_{\text{ШИМ}} = 10 \text{ кГц}$ .

Вывод:

В этом разделе рассчитан требуемый АЭД и выбран АЭД АИМУ 315 280 М2, параметры которого представлены в таблице 1. Рассчитана схема замещения АЭД. Выполнена проверка адекватности расчетных параметров АЭД. Был выбран тип преобразователя частоты SIMENS Micromaster 430, параметры которого представлены в таблице 2.1.2.

### 3. РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

Из принципа работы винтового компрессора следует предположение, что с некоторым приближением можно принять, что зависимость между скоростью вращения и моментом на валу двигателя имеет «вентиляторный» характер нагрузки [8, 11].

Момент от сил трения на валу ротора можно принять постоянным и равным [7].

$$\Delta M_{\text{сдв}} = M_{\text{эмн}} - M_{\text{двн}} = 660,9 - 642,466 = 18,434 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Для механизма с «вентиляторным» типом нагрузки, статический момент сопротивления на валу двигателя изменяется в зависимости от скорости вращения двигателя в соответствии с выражением [7].

$$M_c(\omega) = \Delta M_{\text{сдв}} + (M_{\text{смакс}} - \Delta M_{\text{сдв}}) \left( \frac{\omega}{\omega_{\text{дв.н}}} \right)^2$$

где  $M_{\text{смакс}} = M_{\text{эмн}} = 660,9 \text{ Н} \cdot \text{м}$  момент нагрузки при скорости вращения;  $\omega_{\text{дв.н}} = 311 \text{ рад/с}$ , равный номинальному электромагнитному моменту двигателя.

Механическая характеристика полного момента сопротивления на валу двигателя, соответствующая механической характеристике компрессора, приведена на рисунке 3.1 [10].

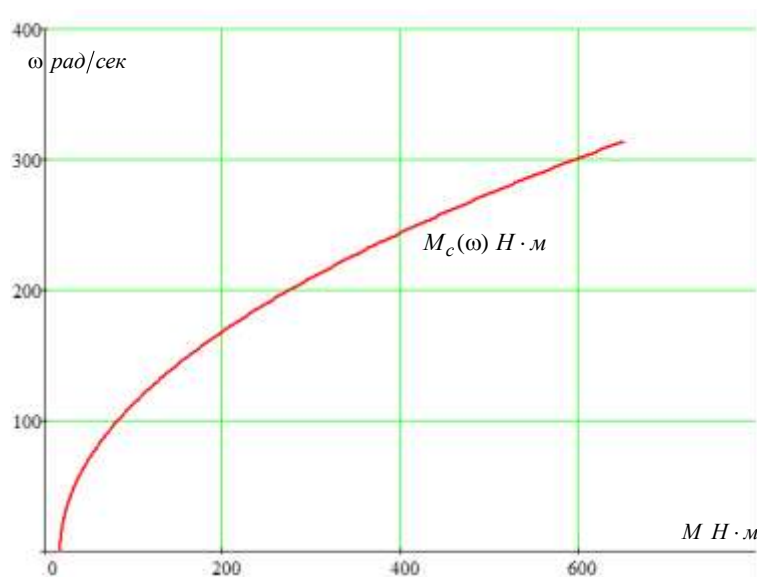


Рисунок 3.1 – Механическая характеристика полного момента сопротивления на валу двигателя

### 3.1 Структурная схема силового канала электропривода

В моделях асинхронного электропривода с частотным скалярным управлением используются двухфазного асинхронного электродвигателя с короткозамкнутым ротором в неподвижной системе координат статора, структурная схема которого представлена на рис. 3.1.1.

Принятая модель двухфазного асинхронного двигателя в связанной со статором неподвижной системе ортогональных координат  $\alpha, \beta$ , вектор фазы  $\alpha$  которой совпадает с вектором фазы  $A$  трехфазного двигателя, обеспечивает равенство амплитуд мгновенных значений электрических и магнитных величин: токов, напряжений и потокосцеплений двухфазного и трехфазного двигателя. При этом все параметры фазы  $\alpha$  полностью совпадают с параметрами фазы  $A$  [3, 7].

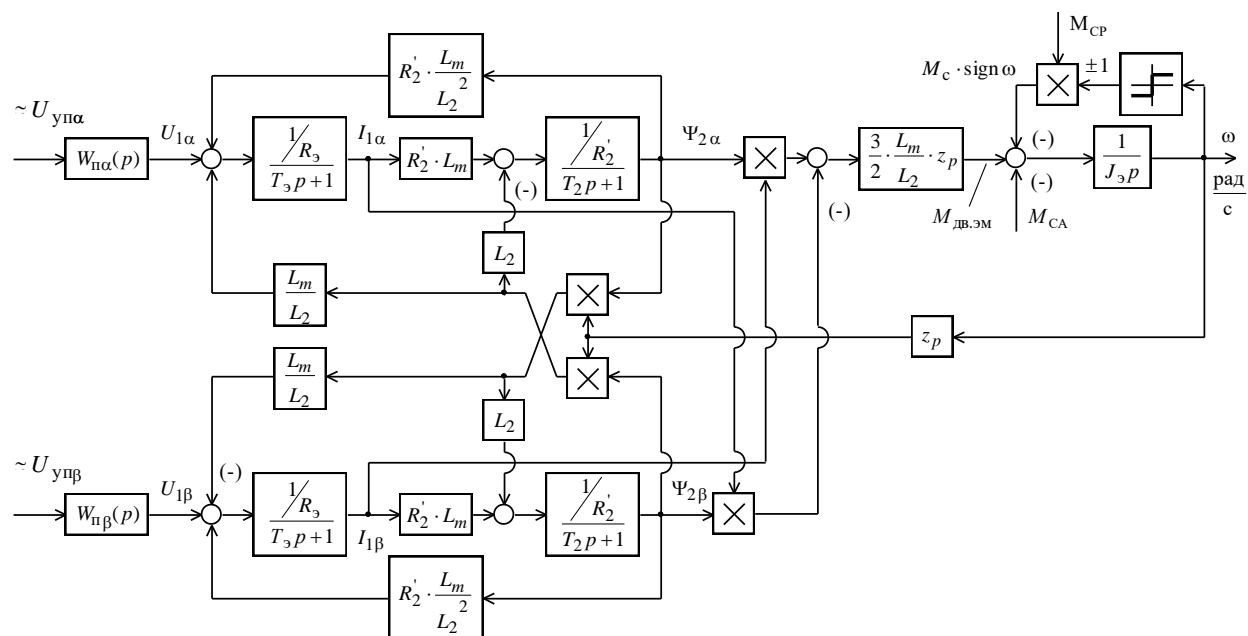


Рисунок 3.1.1. Структурная схема силового канала системы преобразователь - асинхронный электродвигатель в неподвижной двухфазной системе координат.

### 3.2 Функциональная схема частотно-регулируемого асинхронного электропривода со скалярным управлением.

Более всего распространение получило скалярное управление асинхронным двигателем, когда для управления, например, скоростью вращения вентилятора или насоса, достаточно удерживать постоянной скорость вращения ротора, для этого хватает сигнала обратной связи от датчика давления или от датчика скорости. В нашем случае, скорость вращения винтового компрессора целесообразно регулировать, используя скалярное управление без датчика скорости [1, 3, 9].

Обобщенная функциональная схема частотно-регулируемого асинхронного электропривода со скалярным управлением приведена на рис.3.2.1. На схеме символом \* обозначены сигналы задания и управления и приняты следующие обозначения:

$\Delta f_{1к}^*, \Delta U_{1к}^*$  – компенсационные сигналы управления соответственно в канале регулирования частоты и напряжения;

$\omega$  – фактическое значение угловой скорости вращения электродвигателя (ротора);

ЗИС – задатчик интенсивности скорости с линейной или S-образной характеристикой;

РС – регулятор скорости;

ФНУ1 – формирователь напряжений управления двухфазным асинхронным двигателем

$$U_{\alpha}^* = \sqrt{2} \cdot U_1 \cdot \sin 2\pi f_1, U_{\beta}^* = \sqrt{2} \cdot U_1 \cdot \cos 2\pi f_1;$$

ФНУ2 – преобразователь напряжений управления двухфазным двигателем в напряжения управления трехфазным двигателем.

На рис. 3.2.1 и 3.2.2 приведены функциональные схемы систем управления электроприводов со скалярным управлением.

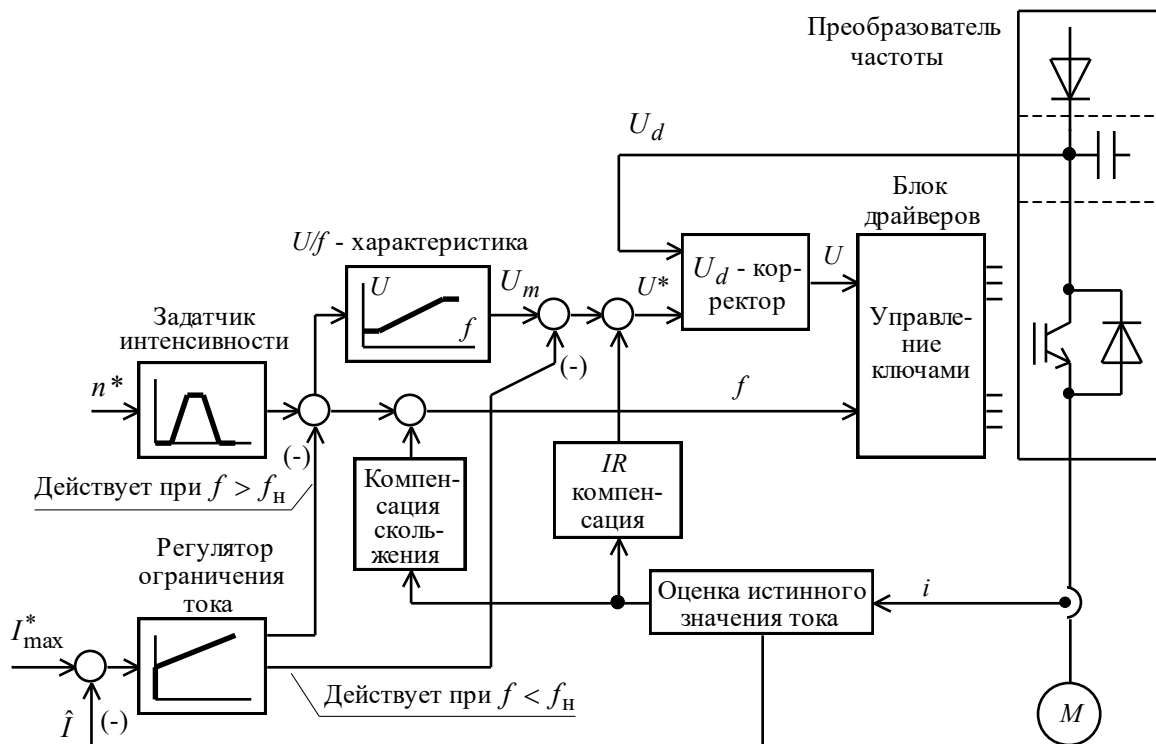


Рисунок 3.2.1. Функциональная схема асинхронного электропривода со скалярным частотным управлением без датчика скорости

Закон частотного регулирования  $U/f$  при скалярном управлении выбирается в зависимости от характера нагрузки производственного механизма. Закон управления с линейной зависимостью между напряжением и частотой ( $U_1/f_1 = const$ ) реализуются в преобразователях частоты для приводов производственных механизмов с постоянным моментом нагрузки. Поддержание постоянства отношения  $U_1/f_1 = const$  обеспечивает постоянство потокосцепления и критического момента двигателя во всем диапазоне регулирования скорости изменением частоты. Однако это справедливо лишь при пренебрежимо малом активном сопротивлении обмотки статора, практически же при уменьшении частоты уменьшается и максимальный момент двигателя. В простейшем случае для повышения момента двигателя на малых скоростях вращения в преобразователях предусмотрена функция повышения начального значения выходного напряжения (начального напряжения вольт-частотной характеристики), применяются модули  $U_d$ -коррекции и  $IR$ -компенсации (рис.



4). В результате достигается компенсация уменьшения момента двигателя для нагрузок с постоянным моментом сопротивления (например, конвейеры, поршневые компрессоры и насосы) или достигается увеличение пускового момента двигателя для нагрузок с высоким моментом трогания (например, экструдеры). Для регулируемых электроприводов центробежных насосов и вентиляторов используется квадратичная зависимость напряжения от частоты ( $U_1/f_1^2 = \text{const}$ ). За счёт большего снижения напряжения двигателя при уменьшении частоты достигается уменьшение потребляемой электроприводом энергии.

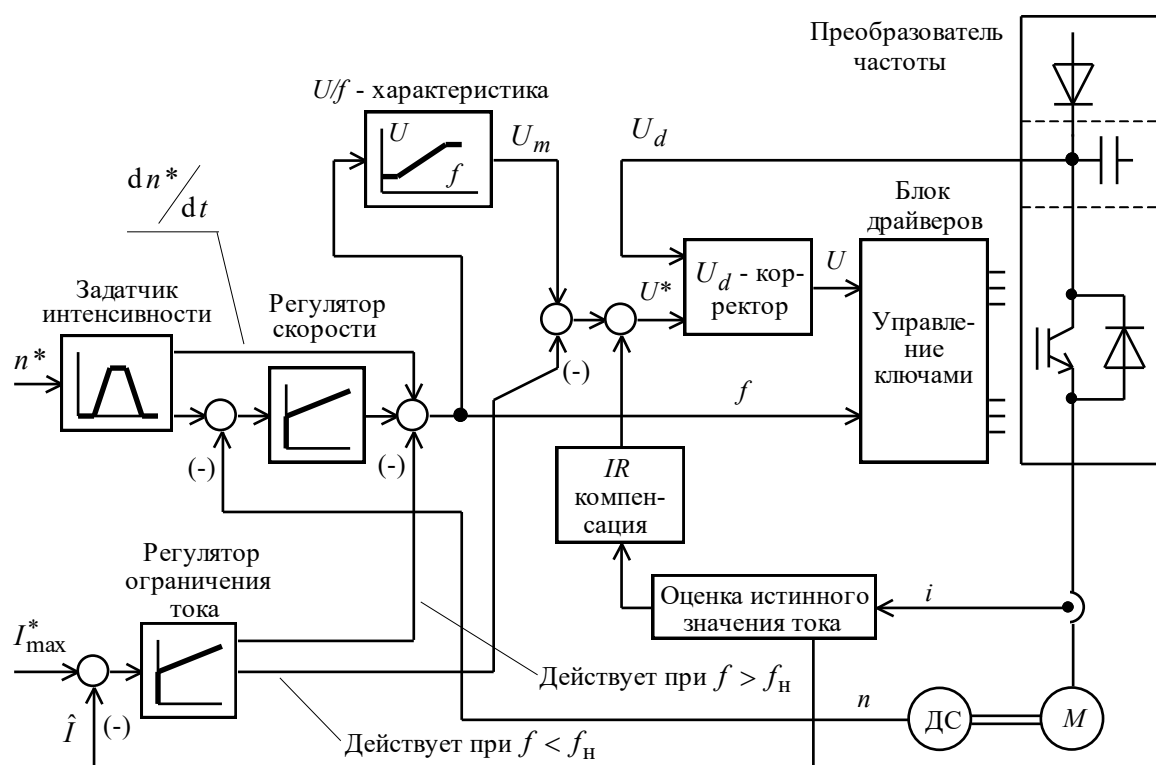


Рисунок. 3.2.2. Функциональная схема асинхронного электропривода со скалярным частотным управлением с датчиком скорости

Из-за ограниченной жесткости рабочей части механических характеристик асинхронных двигателей диапазон регулирования скорости в разомкнутых системах частотно-регулируемого асинхронного электропривода не мо-

жет быть более 1:10. Для расширения диапазона регулирования до 20 применяют компенсационные сигналы по скорости (скольжению) – модуль компенсации скольжения КС до 100 – замкнутый контур регулирования с регулятором скорости РС и обратной связью по скорости с датчиком и регулятором скорости.

Частотно-регулируемый асинхронный электропривод со скалярным управлением может быть и двухзонным, когда при частоте (скорости вращения) выше номинальной, величина напряжения двигателя остаётся постоянным, равным номинальному напряжению. Длительно допустимый и кратковременно допустимый моменты двигателя в этом случае должны быть уменьшены на верхних скоростях.

Системы *IR*-компенсации и компенсации скольжения представляют собой нелинейные положительные обратные связи и их применение необходимо только в области малых скоростей двигателя. Ограничение тока двигателя с помощью датчика и регулятора тока необходимо в системах электроприводов, в которых возможны кратковременные перегрузки. Это исключит аварийное отключение привода средствами защитной аппаратуры. Применение систем управления с датчиками и регуляторами скорости в электроприводах со скалярным управлением представляется нецелесообразным вообще, а тем более для двигателей с самовентиляцией.

Можно рекомендовать в приводах длительного режима работы с постоянной скоростью и диапазоном регулирования скорости не больше 1:10 и без особых требований к динамике применение простейших структур и законов частотного управления:

– при вентиляторном характере нагрузки разомкнутые структуры регулирования с квадратичным законом управления  $\frac{U}{f^2} = const$  и возможно с корректировкой вольт-частотной характеристики в интервале малых частот;

– при постоянной нагрузке разомкнутые структуры с линейным законом управления  $\frac{U}{f} = const$  с корректировкой вольт-частотной характеристики и возможно  $IR$ -компенсации в области малых частот.

Для систем регулируемых электроприводов при диапазоне регулирования скорости более 1:10 или с жесткими требованиями к динамике более целесообразно применять системы векторного управления без датчиков скорости.

Для имитационного моделирования асинхронного электропривода со скалярным управлением используется структурная схема двухфазной модели асинхронного двигателя, составленная в неподвижной системе координат или во вращающейся системе координат. В первом случае, когда применяется структурная схема двухфазной модели асинхронного двигателя, составленная в неподвижной системе координат, сигналами управления модели являются синусоидальные напряжения обмоток статора двухфазной машины, у которых может изменяться амплитуда  $U_{1\alpha m} = U_{1\beta m} = \sqrt{2} \cdot U_1$  и частота  $f_1$ .

Во втором случае, когда применяется структурная схема двухфазной модели асинхронного двигателя, составленная во вращающейся системе координат, входными сигналами модели двигателя являются напряжения постоянного тока  $U_{1x} = U_{1y} = U_1$  и угловая скорость вращения системы координат  $\omega_{кс} = \omega_{эл1} = 2\pi \cdot f_1$  [1, 3, 9].

В результате выбираем функциональную схему асинхронного электропривода со скалярным частотным управлением без датчика скорости, рис. 3.2.1.

### 3.3 Расчет параметров элементов структурной схемы силового канала электропривода

#### 3.3.1 Расчет параметров инвертора, для имитационного моделирования в программной среде Matlab.

Инвертор с ШИМ может быть представлен линейным усилителем с коэффициентом усиления [4]

$$k_{\text{и}} = \frac{\sqrt{2} \cdot U_{1\text{фн}}}{N_{\text{уп.макс}}} = \frac{\sqrt{2} \cdot 220}{1} = 311.13 ,$$

где  $N_{\text{уп.макс}}$  – максимальное значение управления на входе преобразователя, принимается  $N_{\text{уп.макс}} = 1$ .

Инерционность инвертора характеризуется чистым запаздыванием на величину периода широтно-импульсной модуляции

$$T_{\text{шим}} = \frac{1}{f_{\text{шим}}} = \frac{1}{10000} = 0.0001 \text{ с} ,$$

где  $f_{\text{шим}}$  несущая частота инвертора, Гц.

#### 3.3.2 Расчет параметров двигателя для имитационного моделирование в программной среде Matlab.

Эквивалентная индуктивность обмоток [6]:

статора

$$L_1 = L_{1\delta} + L_{\mu} = 0.0091 \text{ Гн} ;$$

ротора

$$L_2 = L'_{2\delta} + L_{\mu} = 0.00918 \text{ Гн} .$$

Коэффициент рассеяния

$$\sigma = 1 - \frac{L_{\mu}^2}{L_1 \cdot L_2} = 0.052 .$$

Эквивалентное сопротивление

$$R_3 = R_1 + R_2' \cdot \frac{L_{1\mu}^2}{L_2^2} = 0.0115 \text{ Ом} .$$

Электромагнитные постоянные времени

$$T_3 = \frac{\sigma \cdot L_1}{R_3} = 0.041 \text{ с} ;$$

$$T_2 = \frac{L_2}{R_2'} = 1.5 \text{ с} .$$

### 3.4 Расчет естественных характеристик электродвигателя

Расчет естественных характеристик проводится с целью оценки степени совпадения параметров основных характерных точек расчетных естественных характеристик электродвигателя с параметрами двигателя определенными по справочным техническим данным выбранного электродвигателя [1].

#### 3.4.1 Расчет естественной механической характеристики

Естественная механическая характеристика  $M=f(s)$  асинхронного электродвигателя рассчитывается для частоты по выражению

$$M(s) = \frac{3 \cdot U_{1\Phi H}^2 \cdot R_2'}{\omega_0 \cdot s \cdot \left[ (X_{KH})^2 + \left( R_1 + \frac{R_2'}{s} \right)^2 + \left( \frac{R_1 \cdot R_2'}{s \cdot X_\mu} \right)^2 \right]} .$$

Задаемся скольжением в пределах  $s = 0.01, 0.02, \dots, 1$  и рассчитываем характеристику  $M=f(s)$ , где  $\omega = \omega_0 \cdot (1 - s)$ .

Также рассчитываются значения электромагнитного момента  $M_{\text{эм.н}}$ :

$$M_{\text{эм.н}}(s_H) = M_{\text{эм.н}} = \frac{3 \cdot U_{1\Phi H}^2 \cdot R_2'}{\omega_0 \cdot s_H \cdot \left[ (X_{KH})^2 + \left( R_1 + \frac{R_2'}{s_H} \right)^2 + \left( \frac{R_1 \cdot R_2'}{s_H \cdot X_\mu} \right)^2 \right]} = 642,46 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

критического скольжения

$$s_k = R_2' \cdot \sqrt{\frac{1 + (\frac{R_1}{X_\mu})^2}{R_1^2 + X_{\text{кн}}^2}} = 0.039$$

и электромагнитного критического момента

$$M_{\text{эм.н}}(s_k) = M_{\text{эм.к}} = \frac{3 \cdot U_{1\text{фн}}^2}{\omega_0 \cdot 2 \cdot \left[ R_1 + \sqrt{(R_1^2 + X_{\text{кн}}^2) \cdot (1 + \frac{R_1}{X_\mu})^2} \right]} = 1,434 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

Естественная механическая характеристика асинхронного электродвигателя представлена на рисунке 3.4.1.1.

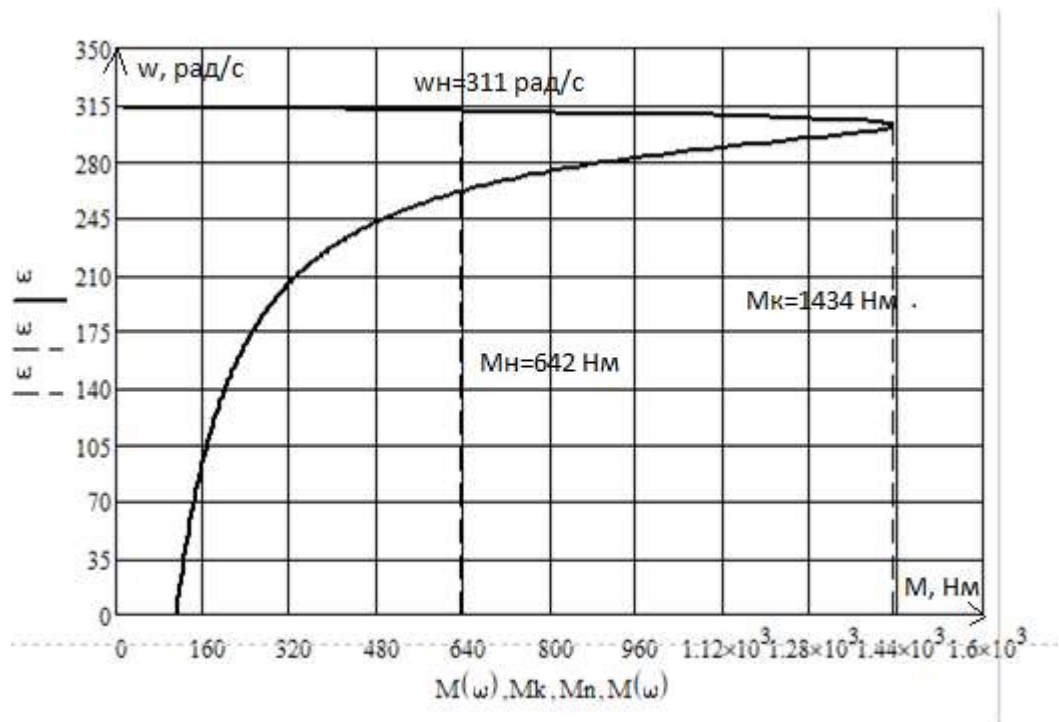


Рисунок 3.4.1.1 Естественная механическая характеристика асинхронного электродвигателя

### 3.4.2 Расчет естественной электромеханической характеристики

Естественная электромеханическая характеристика  $I_1(s)$  электродвигателя рассчитывается для значения частоты  $f_{\text{н}} = f_{1\text{н}} = 50$  Гц по выражению

$$I_1(s) = \sqrt{I_0^2 + I_2^2(s) + 2 \cdot I_0 \cdot I_2'(s) \cdot \sin \varphi_2(s)},$$

где

$$I_2'(s) = \frac{U_{1\phi H}}{\pm \sqrt{(R_1 + \frac{R_2'}{s})^2 + (X_{KH})^2 + (\frac{R_1 \cdot R_2'}{s \cdot X_\mu})^2}};$$

$$\sin \varphi_2(s) = \frac{X_{KH}}{\sqrt{(R_1 + \frac{R_2'}{s})^2 + (X_{KH})^2}}.$$

По вышеприведенным выражениям для скольжений  $s = s_H$  и  $s \rightarrow 0$  рассчитываются значения тока статора  $I_1(s_H)$  и  $I_0$ :

$$I_0 = \frac{U_{1\phi H}}{\sqrt{R_1^2 + (X_1 + X_\mu)^2}} = 76,7 \text{ А},$$

$$I_1(s_H) = \sqrt{I_0^2 + I_2'^2(s) + 2 \cdot I_0 \cdot I_2'(s) \cdot \sin \varphi_2(s)} = 347,44 \text{ А},$$

где

$$I_2'(s) = \frac{U_{1\phi H}}{\pm \sqrt{(R_1 + \frac{R_2'}{s})^2 + (X_{KH})^2 + (\frac{R_1 \cdot R_2'}{s \cdot X_\mu})^2}} = 326,239 \text{ А};$$

По результатам расчета строится естественная электромеханическая характеристика  $I_1 = f(\omega)$ . Электромеханическая характеристика приведена на рисунке 3.4.2.1.

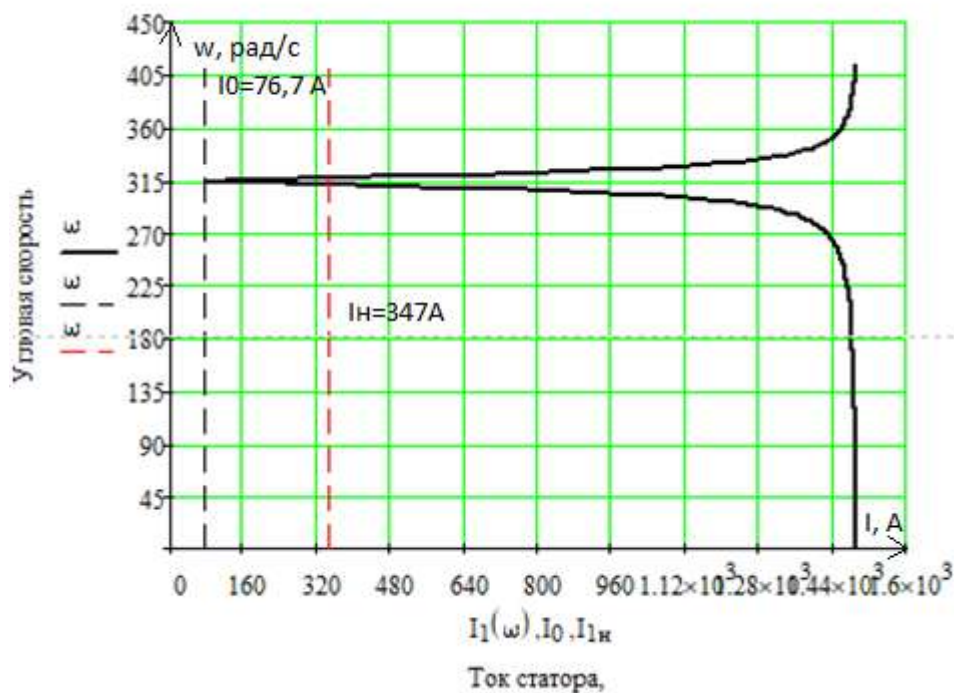


Рисунок 3.4.2.1 Естественная электромеханическая характеристика асинхронного электродвигателя.

Вывод:

В этом разделе была рассмотрена структурная схема силового канала ЭП. Выбрана функциональная схема частотно регулируемого асинхронного ЭП со скалярным управлением. Рассчитаны параметры элементов структурной схемы силового канала ЭП. Рассчитаны естественные характеристики АЭД. По результатам расчетов можно сделать вывод, что параметры схемы замещения АЭД рассчитаны верно.



#### 4. РАСЧЕТ И ПОСТРОЕНИЕ ИСКУССТВЕННЫХ МЕХАНИЧЕСКИХ И ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СИСТЕМЫ “ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ЧАСТОТЫ - АСИНХРОННЫЙ ДВИГАТЕЛЬ”

При вентиляторном характере нагрузки целесообразно использовать квадратичный закон управления  $\frac{U}{f^2} = const$ .

Расчет характеристик производим для частот  $f_1=50;45;40;30;20;10$  Гц [6, 9].

Диапазон частот 1:5 необходим по условиям графика нагрузки ГТУ, приведенным в разделе 1.4.

При законе регулирования  $Z_p = \frac{U_{1H}}{f^2} = \frac{220}{50^2} = 0,088$ .

Найдем относительные значения частот питающего напряжения:

при $f_{1H1}=50$ Гц	$f_{1*1} = \frac{f_{1i}}{f_{1i}} = \frac{50}{50} = 1$
при $f_{1H2}=40$ Гц	$f_{1*2} = \frac{f_{2i}}{f_{1i}} = \frac{40}{50} = 0.8$
при $f_{1H3}=30$ Гц	$f_{1*3} = \frac{f_{3i}}{f_{1i}} = \frac{30}{50} = 0.6$
при $f_{1H4}=20$ Гц	$f_{1*4} = \frac{f_{4i}}{f_{1i}} = \frac{20}{50} = 0.4$
при $f_{1H5}=10$ Гц	$f_{1*5} = \frac{f_{5i}}{f_{1i}} = \frac{10}{50} = 0.2$

Найдем фазное напряжение обмотки статора асинхронного двигателя:

$$U_{1n1} = Z_p \cdot f_{1n1}^2 = 220 \text{ В}$$

$$U_{1n2} = Z_p \cdot f_{1n2}^2 = 140.8 \text{ В}$$

$$U_{1n3} = Z_p \cdot f_{1n3}^2 = 79.2 \text{ В}$$

$$U_{1n4} = Z_p \cdot f_{1n4}^2 = 35.2 \text{ В}$$

$$U_{1n5} = Z_p \cdot f_{1n5}^2 = 8.8 \text{ В}$$

В соответствии с представленными частотами питающего напряжения произведем расчет значений скорости идеального холостого хода:

$$\omega_{01} = \frac{2\pi \cdot f_{1n1}}{p} = 314.159 \text{ В рад/с};$$

$$\omega_{02} = \frac{2\pi \cdot f_{1n2}}{p} = 251.327 \text{ В рад/с};$$

$$\omega_{03} = \frac{2\pi \cdot f_{1n3}}{p} = 188.496 \text{ В рад/с};$$

$$\omega_{04} = \frac{2\pi \cdot f_{1n4}}{p} = 125.664 \text{ В рад/с};$$

$$\omega_{05} = \frac{2\pi \cdot f_{1n5}}{p} = 62.832 \text{ В рад/с}.$$

Определим токи холостого хода при данных частотах регулирования:

$$I_{01} = \frac{U_{1n1}}{X_{\mu H} \cdot f_{1*1}} = 80,047 \text{ А};$$

$$I_{02} = \frac{U_{1n2}}{X_{\mu H} \cdot f_{1*2}} = 64,038 \text{ А};$$

$$I_{03} = \frac{U_{1n3}}{X_{\mu H} \cdot f_{1*3}} = 48,028 \text{ А};$$

$$I_{04} = \frac{U_{1n4}}{X_{\mu H} \cdot f_{1*4}} = 32,019 \text{ А};$$

$$I_{05} = \frac{U_{1n5}}{X_{\mu H} \cdot f_{1*5}} = 16,009 \text{ А}.$$

Строим электромеханические характеристики  $I_2(\omega)$  для выбранных частот по выражениям:

$$I_2'(s, f) = \frac{U_1(f)}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{s}\right)^2 + X_{\text{KH}}^2 \cdot f_{1*}^2(f) + \left(\frac{R_1 \cdot R_2'}{s \cdot X_{\mu H} \cdot f_{1*}(f)}\right)^2}}, \quad (11)$$

где  $\omega(s, f) = \omega_0(f) \cdot (1 - s)$ .

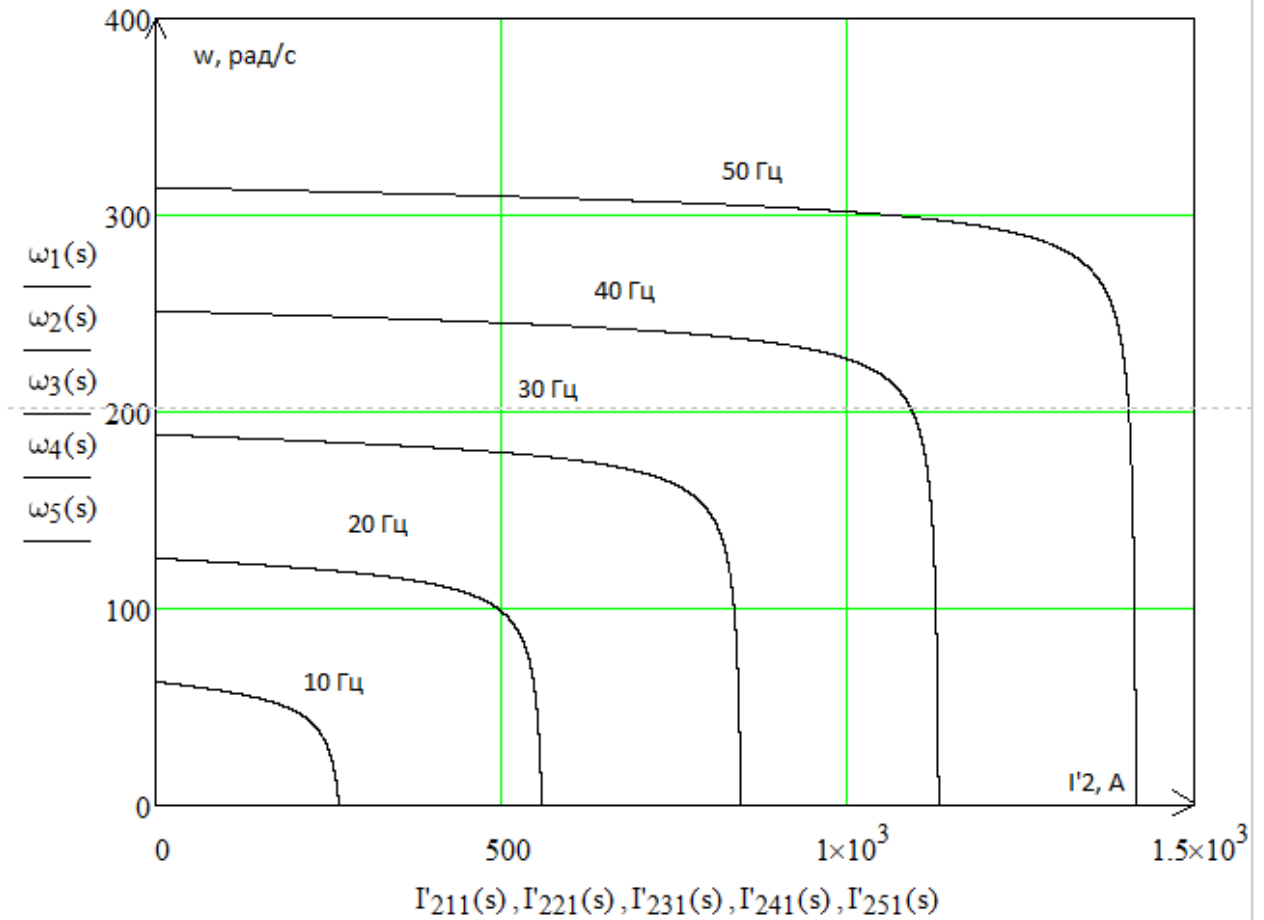


Рисунок 4.1 - Искусственные электромеханические характеристики  $\Gamma_2(\omega)$  при частотном регулировании скорости.

Также строим электромеханические характеристики  $I_1(\omega)$  для выбранных частот по выражениям

$$I_1(s, f) = \sqrt{(I_0(f))^2 + (I'_2(s, f))^2 + 2 \cdot I_0(f) \cdot I'_2(s, f) \cdot \sin \varphi_2(s, f)}, \quad (12)$$

$$\omega(s, f) = \omega_0(f)(1 - s),$$

где  $\sin \varphi_2(s, f) = \frac{X_{KH} \cdot f_{1*}(f)}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R'_2}{s}\right)^2 + X_{KH}^2 \cdot f_{1*}^2(f)}};$

$I_0(f) = \frac{U_1(f)}{X_{\mu H} \cdot f_{1*}(f)}$  – ток холостого хода асинхронного двигателя в зависимости от частоты.

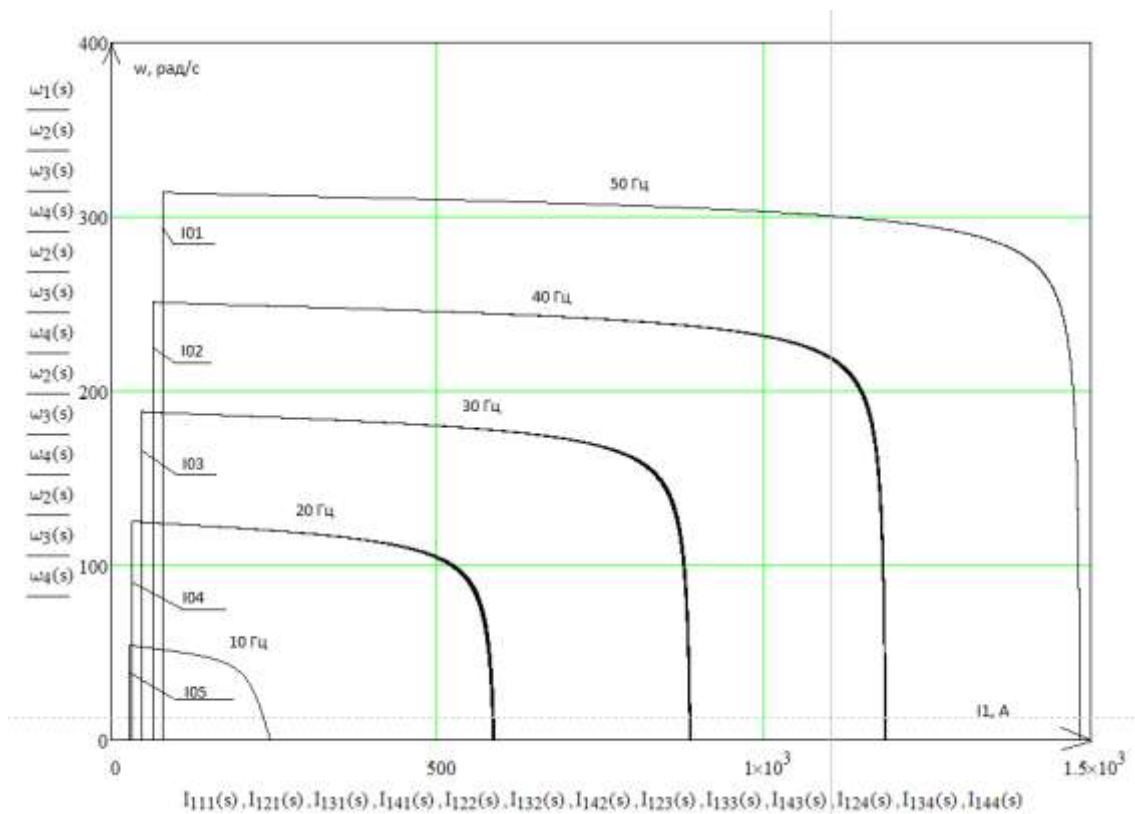


Рисунок 4.2 - Искусственные электромеханические характеристики  $I_1(\omega)$  при частотном регулировании скорости.

Механические характеристики асинхронного двигателя  $M(\omega)$  (рис.4.3) рассчитываем для выбранных частот по выражениям:

$$M(s, f) = \frac{3 \cdot (U_1(f))^2 \cdot R'_2}{\omega_0(f) \cdot s \cdot \left[ X_{\text{эф}}^2 \cdot (f_{1*}(f))^2 + \left( R_1 + \frac{R'_2}{s} \right)^2 + \left( \frac{R_1 \cdot R'_2}{s \cdot X_{\mu 1} \cdot f_{1*}(f)} \right)^2 \right]},$$

$$\omega(s, f) = \omega_0(f)(1 - s).$$

Критические момент и скольжение можно определить по выражениям

$$M_k(f) = \frac{3 \cdot (U_1(f))^2}{2 \cdot \omega_0(f) \cdot \left[ R_1 + \sqrt{(R_1^2 + X_{\text{кн}}^2 \cdot (f_{1*}(f))^2) \cdot \left( 1 + \frac{R_1^2}{X_{\mu 1}^2 \cdot (f_{1*}(f))^2} \right)} \right]},$$

$$s_k(f) = R'_2 \cdot \sqrt{\frac{1 + \frac{R_1^2}{X_{\mu 1}^2 \cdot (f_{1*}(f))^2}}{R_1^2 + X_{\mu 1}^2 \cdot (f_{1*}(f))^2}},$$

$$\omega_k(f) = \omega(s_k(f), f).$$

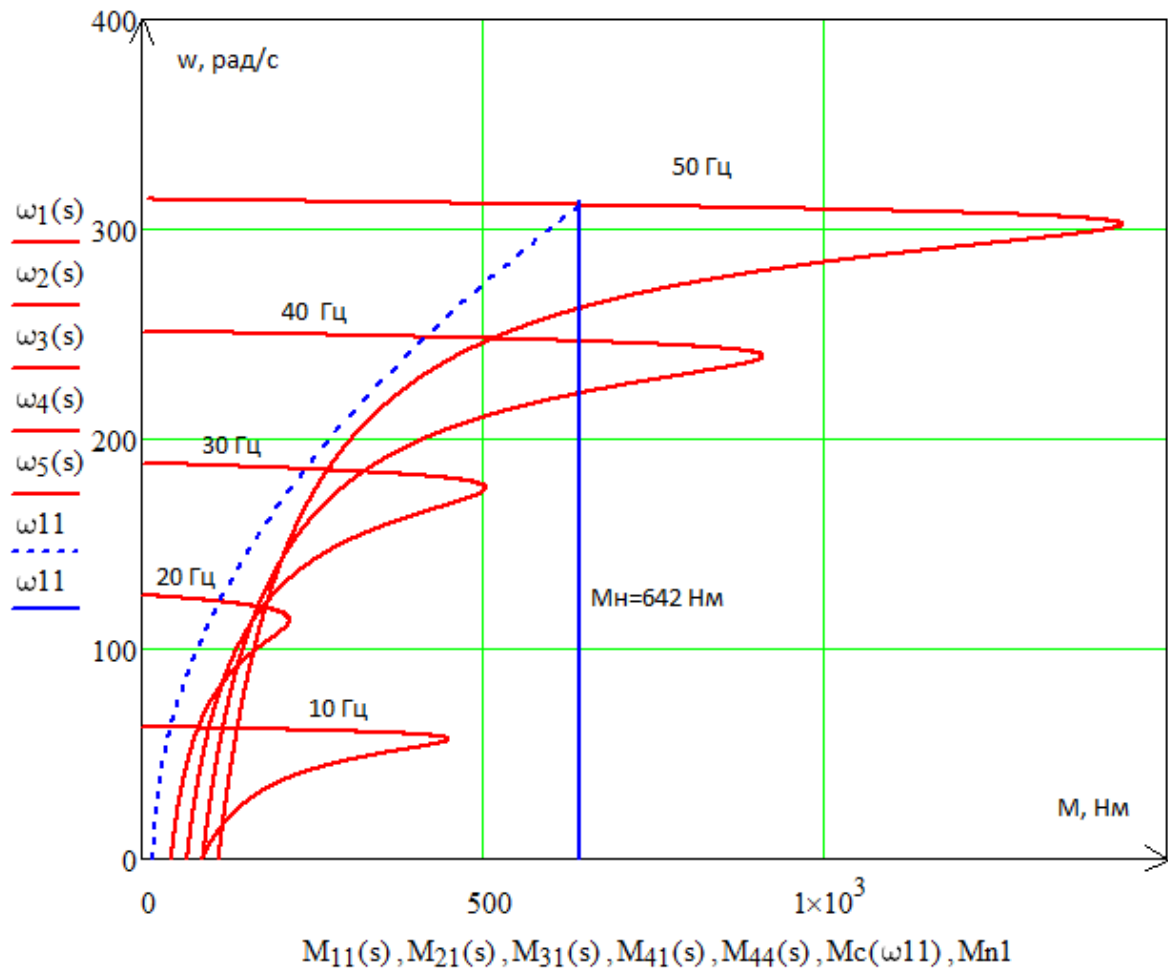


Рисунок 4.3 - Искусственные механические характеристики  $M(\omega)$  при частотном регулировании скорости

Электромеханические характеристики:

При уменьшении частоты происходит уменьшение синхронной скорости, т.к.

$$1. \omega_0 = \frac{60 \cdot f}{p} \cong f \quad - \quad \text{при уменьшении частоты синхронная скорость}$$

снижается.

$$2. I'_{2\kappa 3} = \frac{U_1}{\sqrt{(R_1 + R'_2)^2 + X_{\kappa\kappa}^2}} \cong \frac{U_1}{f^2} \quad - \quad \text{ток короткого замыкания обратно}$$

пропорционален квадратному корню из частоты.

Механические характеристики:

$$1. \omega_0 = \frac{60 \cdot f}{p} \cong f - \text{при уменьшении частоты синхронная скорость}$$

снижается.

$$2. s_k = R_2' \cdot \sqrt{\frac{1 + (\frac{R_1}{X_\mu})^2}{R_1^2 + X_{\text{кн}}^2}} \cong \frac{1}{f}; M_k = \frac{3 \cdot U_1^2}{2 \cdot \omega_0 \cdot [R_1 + \sqrt{R_1^2 + X_{\text{кн}}^2}]} \cong \frac{U_1^2}{f^2} \cong f^2.$$

Критические момент и скольжение обратно пропорциональны частоте.

$$3. M_{\text{п}} = 2 \cdot M_k \cdot s_k \cong f - \text{пусковой момент обратно пропорционален квадрату частоты.}$$

Вывод:

В данном разделе были рассчитаны и построены искусственные механические и электромеханические характеристики системы “преобразователь частоты - асинхронный двигатель”.

Исходя из полученных результатов моделирования в программной среде Mathcad, можно сделать вывод, что поставленные задачи и требуемые результаты выполнены. Диапазон регулирования составил 1:5.

## 5. РАСЧЕТ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ ДЛЯ РЕЖИМА ПУСКА, НАБРОСА НАГРУЗКИ НА ВАЛУ ДВИГАТЕЛЯ ДЛЯ РАЗОМКНУТОЙ СИСТЕМЫ.

Моделирование асинхронного двигателя осуществим с помощью программы MATLAB Simulink. Параметры модели представлены в m-файле ПРИЛОЖЕНИЯ А. Имитационная модель представлена на рисунке 5.1 [4, 7, 8].

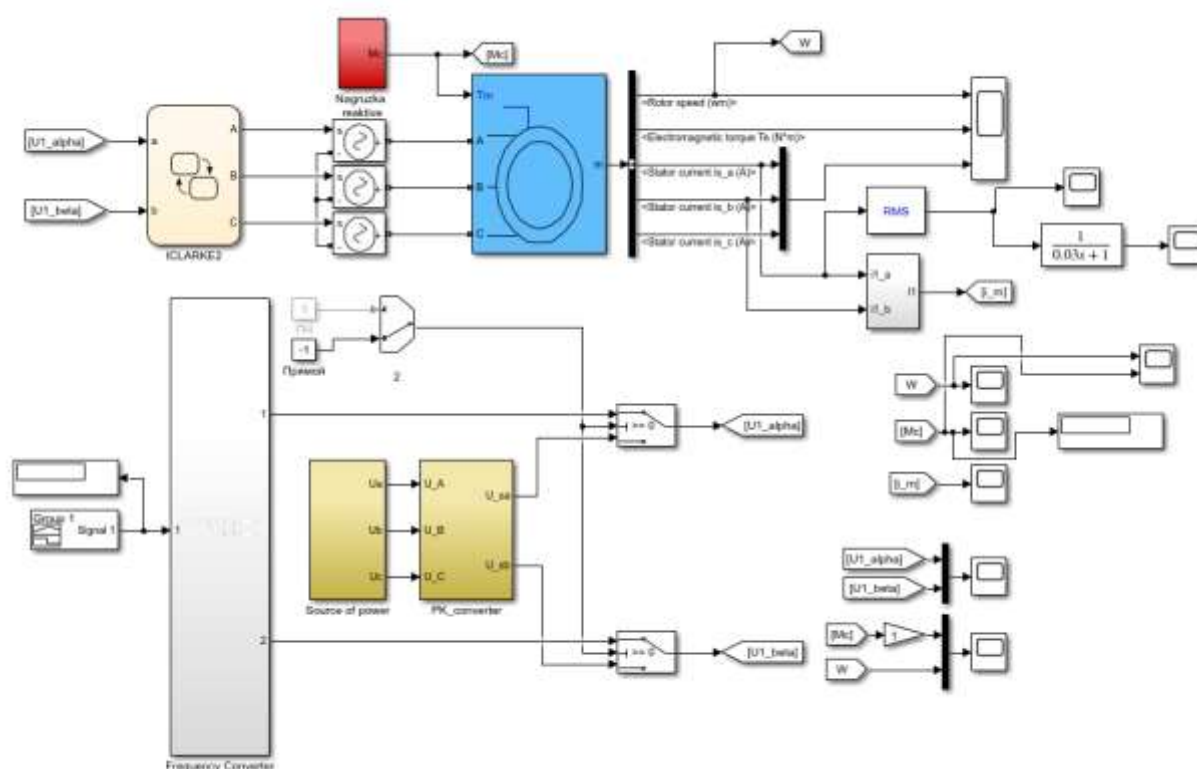


Рисунок 5.1 - Имитационная модель прямого и частотного пуска асинхронного двигателя.

Имитационная модель включает в себя подсистемы:

- Преобразователь частоты «Frequency Converter»;
- Источник напряжения «Source of power»;
- Преобразование парка «PK\_converter»;
- Блок инверсного преобразования Кларка «ICLARKE»;
- Блоки управляемых источников питания;
- Модель асинхронного двигателя;
- Подсистему реактивной нагрузки;

- Подсистему вычислителя модуля тока статора.

Модель предусматривает переключение между режимами пуска, прямой или частотный, для этого достаточно изменить положение переключателя 2.

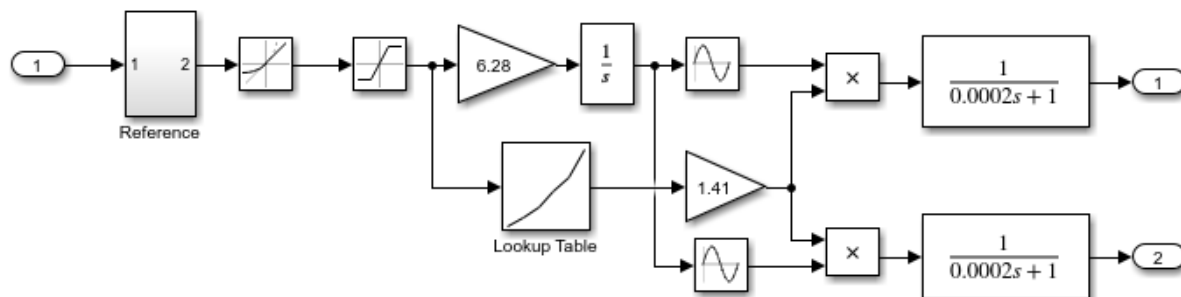


Рисунок 5.2 Подсистема преобразователь частоты «Frequency Converter»

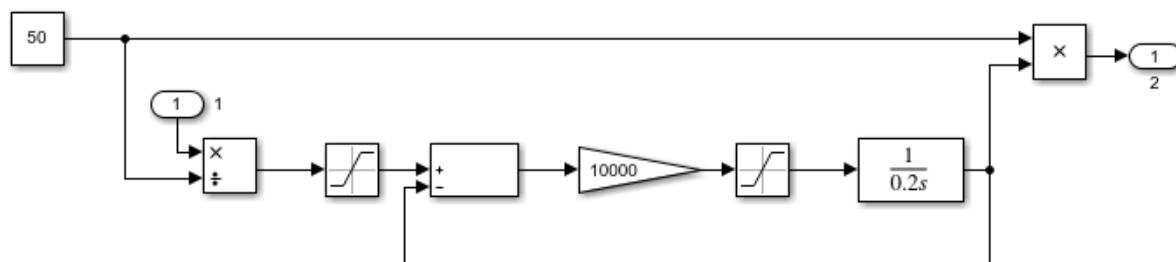


Рисунок 5.3 – Подсистема задатчика интенсивности «Reference»

Подсистема преобразователя частоты «Frequency Converter» включает в себя блок задатчика интенсивности «Reference», блок формирования вольт частотной характеристики для выбранного закона управления, а также блоки формирования гармонического напряжения питания для асинхронного двигателя [4, 7, 8].

Для проверки адекватности модели смоделированы переходные процессы пуска двигателя на холостом ходу и наброса номинальной нагрузки. Ниже представлены переходные характеристики скорости, момента и токов при прямом пуске АД и набросе нагрузки.

Исследование динамических переходных характеристик АЭД представлено на рисунке 5.4, 5.5.



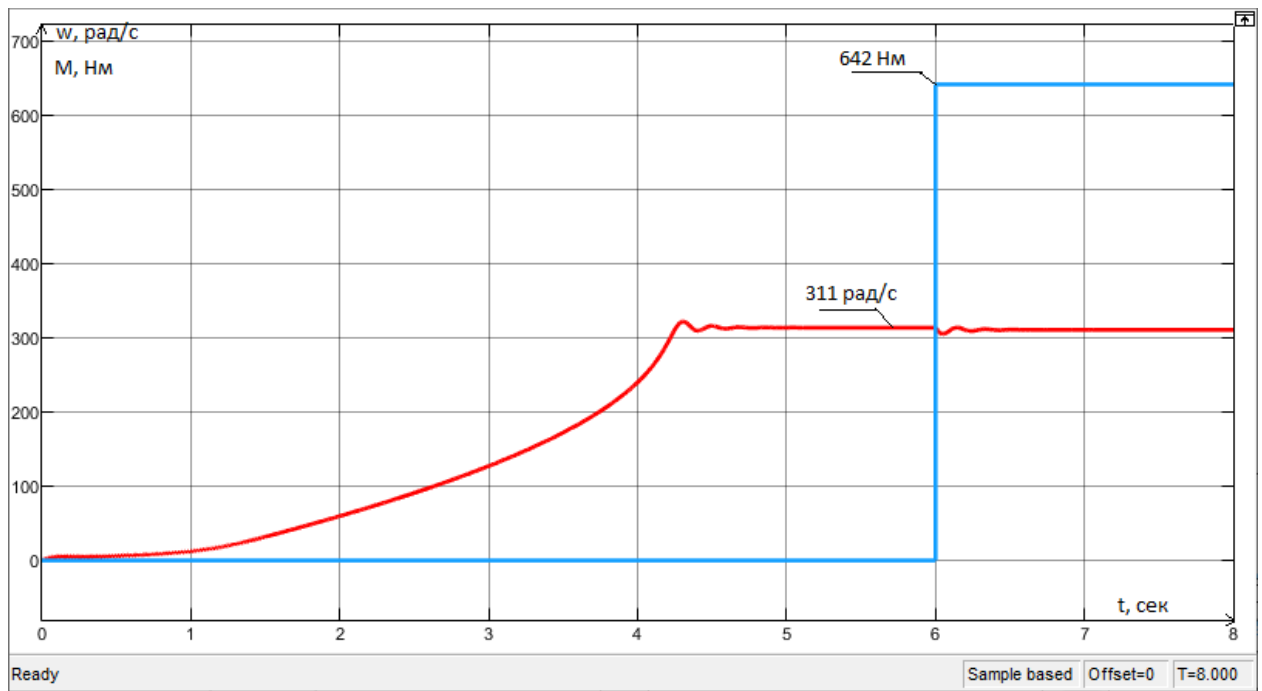


Рисунок 5.4 - Переходная характеристика скорости ротора АД при прямом пуске без нагрузки и последующем набросе нагрузки.

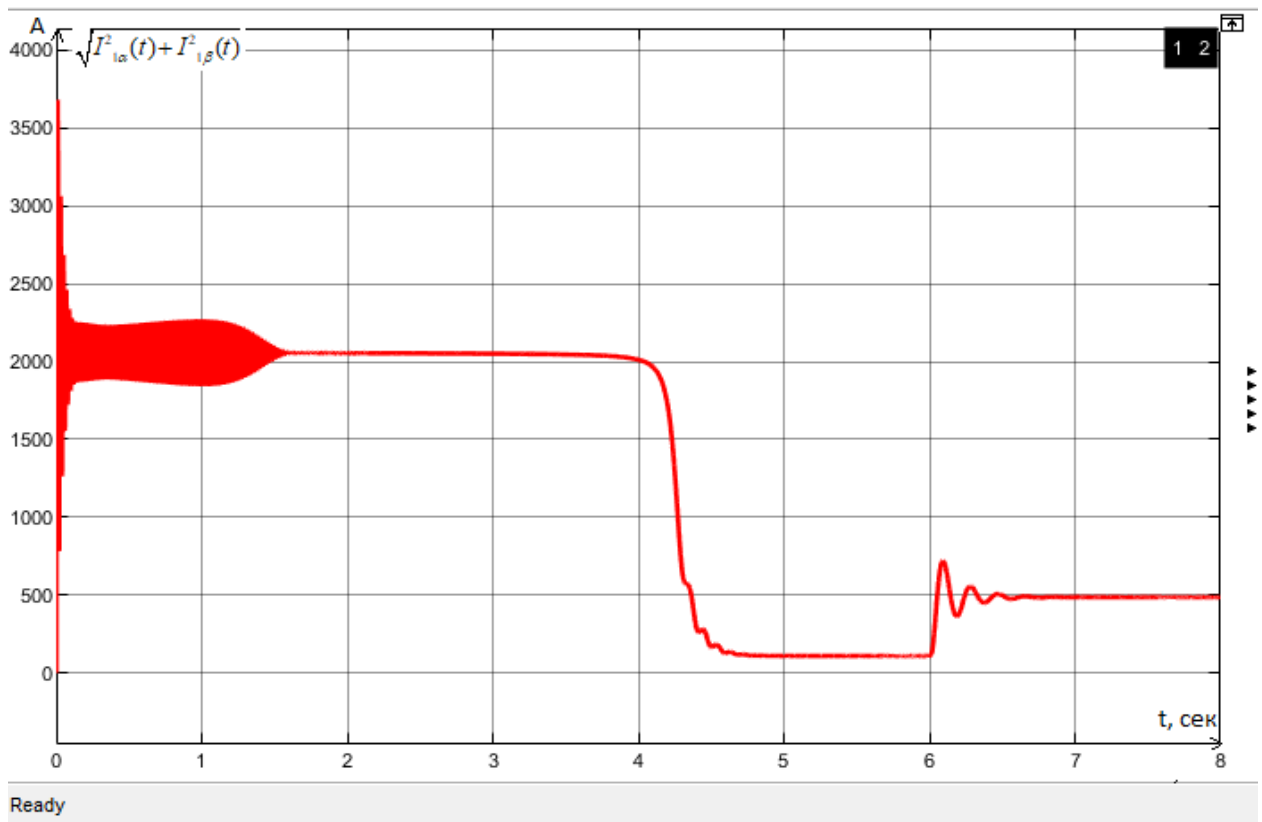


Рисунок 5.5 - Переходная характеристика модуля тока статора АД при прямом пуске и последующем набросе нагрузки

На рисунке 5.6 Переходная характеристика скорости ротора, момента, тока АД при прямом пуске без нагрузки и последующем набросе нагрузки

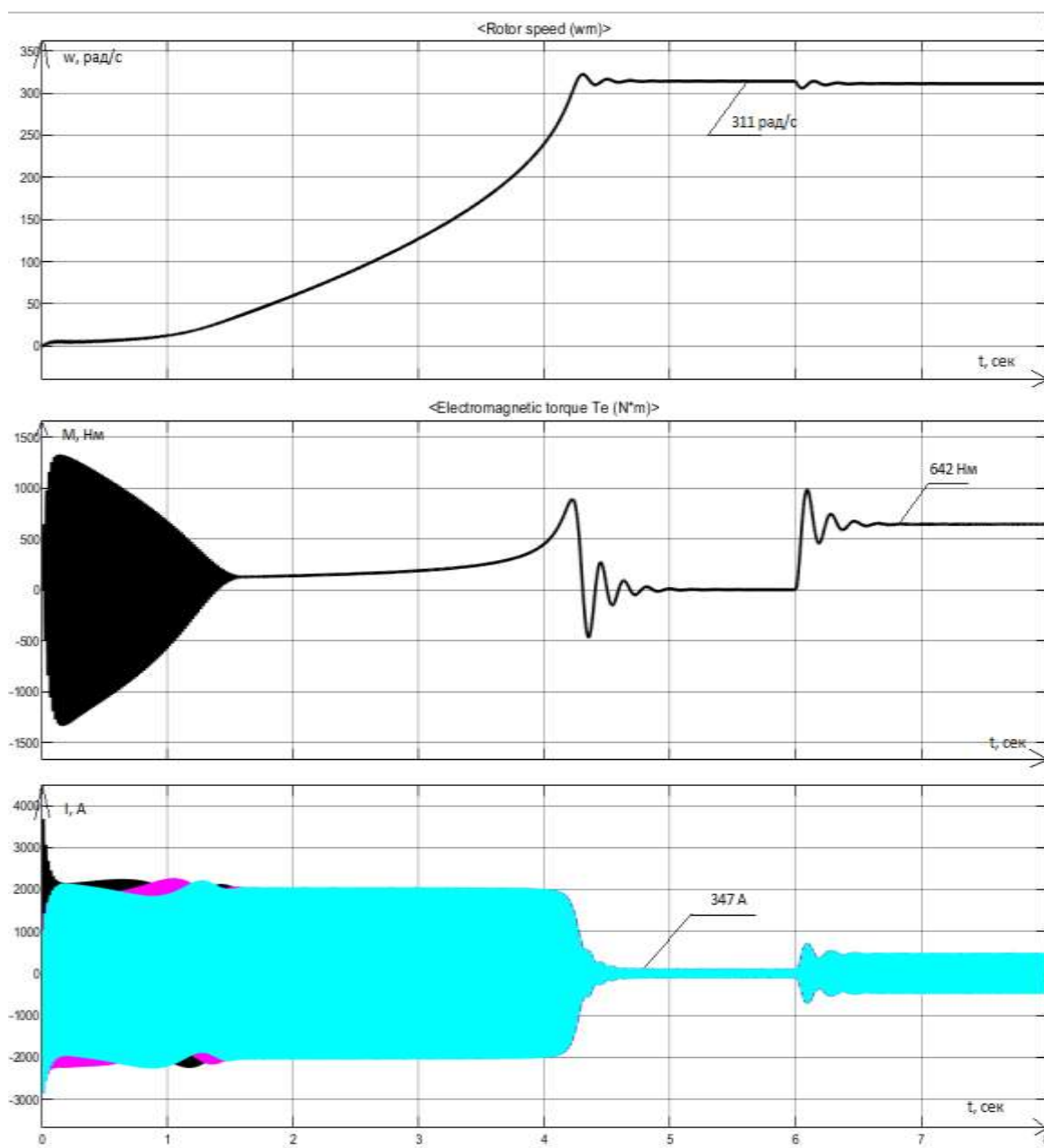


Рисунок 5.6 - Переходная характеристика скорости ротора, момента, тока АД при прямом пуске без нагрузки и последующем набросе нагрузки.

На рисунке 5.7 представлены переходные характеристики скорости ротора момента, тока АД при пуске под нагрузкой.

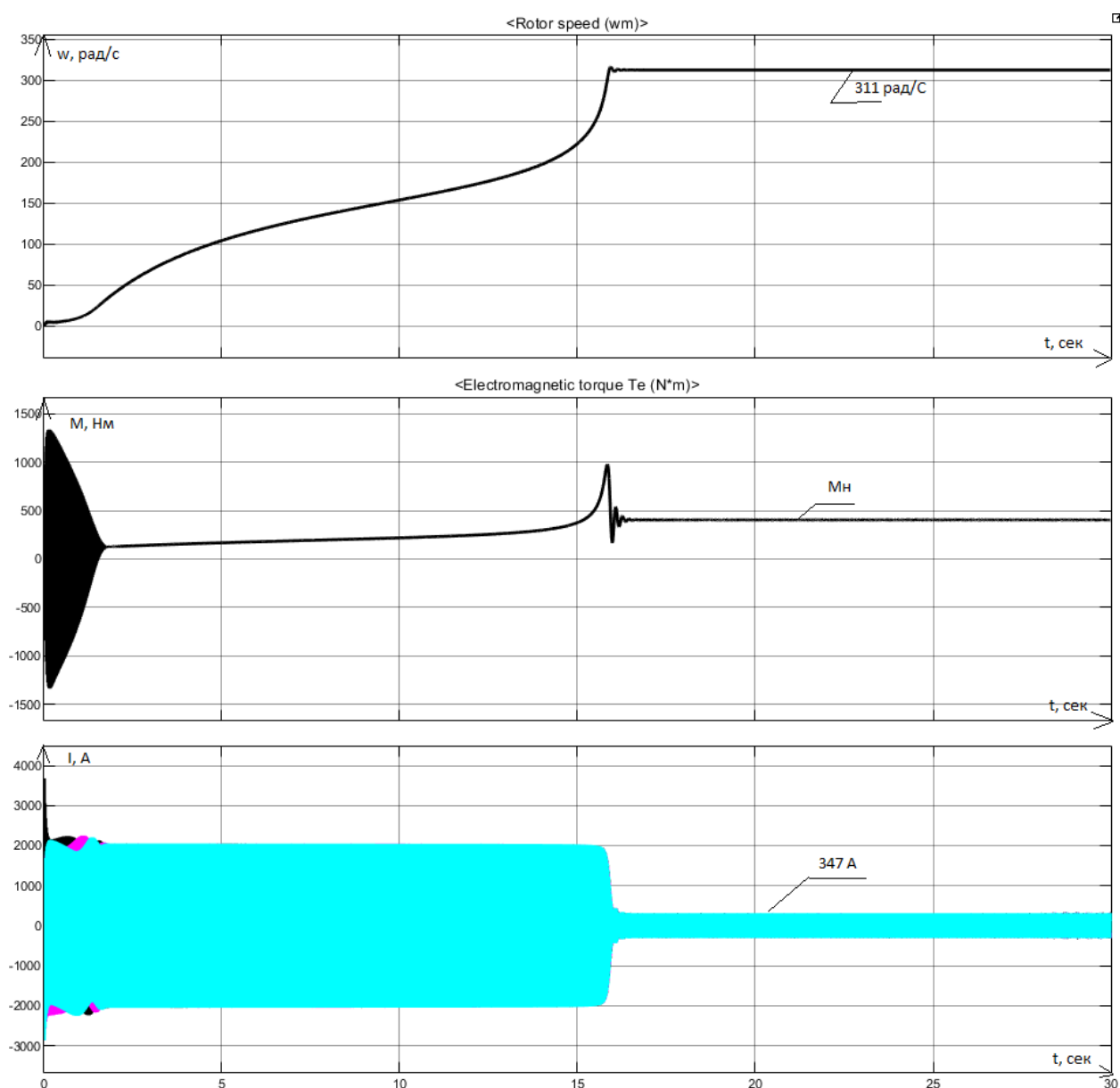


Рисунок 5.7 переходные характеристики скорости ротора, момента, тока АД при пуске под нагрузкой.

Из рисунков 5.4 и 5.5 видно, что данные, полученные при моделировании в среде MATLAB Simulink, практически совпали с расчетными значениями в среде MathCad.

Номинальная расчетная скорость вращения АД

$$\omega_{\text{дв.н}} = 311.3 \frac{\text{рад}}{\text{с}}.$$

Номинальный момент двигателя

$$M_{\text{дв.н}} = 642,46 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Номинальное фазное напряжение и номинальный фазный ток статора. Для определения номинального фазного тока необходимо знать схему соединения обмоток статора. Соединение обмоток соединение Y.

$$I_{1\text{фн}} = I_{1\text{лн}} = 347,448 \text{ А}.$$

Максимальный потребляемый ток двигателя при прямом пуске

$$I_{1\text{макс}} = 2466,8 \text{ А}.$$

Вывод:

В данном разделе были построены графики переходных характеристик скорости ротора, момента, тока АД при пуске под нагрузкой, пуске без нагрузки и последующем набросе нагрузки.

Из рис. 5.4 и 5.5 видно, что данные, полученные при моделировании в среде MATLAB Simulink, практически совпали с расчетными значениями в среде MathCad.

## 6. РАСЧЕТ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ ДЛЯ РЕЖИМА ПУСКА И НАБРОСА НАГРУЗКИ НА ВАЛУ ДВИГАТЕЛЯ СИСТЕМЫ “ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ЧАСТОТЫ – АСИНХРОННЫЙ ДВИГАТЕЛЬ”

Так как ГТУ имеет собственный график нагрузки – рис 1.4.1, то целесообразно регулировать скорость вращения АД с помощью ПЧ.

В соответствии с функциональной схемой, представленной на рисунке 3.2.2, составим имитационную модель привода

На рисунке 6.1 представлены математически рассчитанная кривая зависимости  $U_{1j} / f_{1j}^2 = const$ .

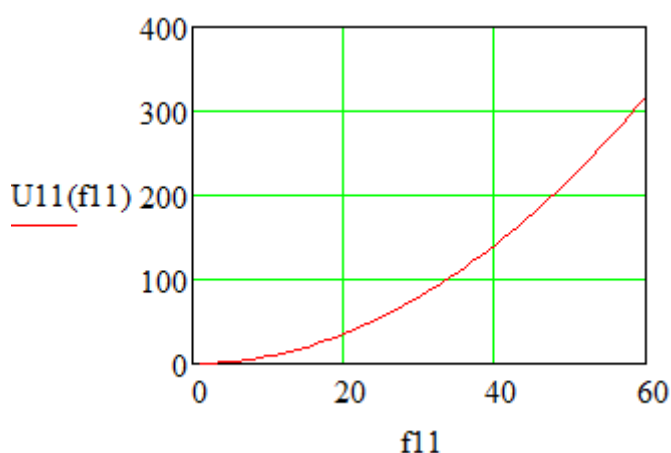


Рисунок 6.1 - Кривая зависимости  $U(f)$

Была смоделирована работа электропривода при пуске двигателя с плавным повышением частоты питающего напряжения до 10 Гц, 20Гц, 30Гц работе при 10, 20, 30 Гц и дальнейшем повышении частоты до 50 Гц [4, 7, 8].

На рисунке 6.2 представлена иллюстрация закона изменения частоты при пуске процессы скорости и момента.

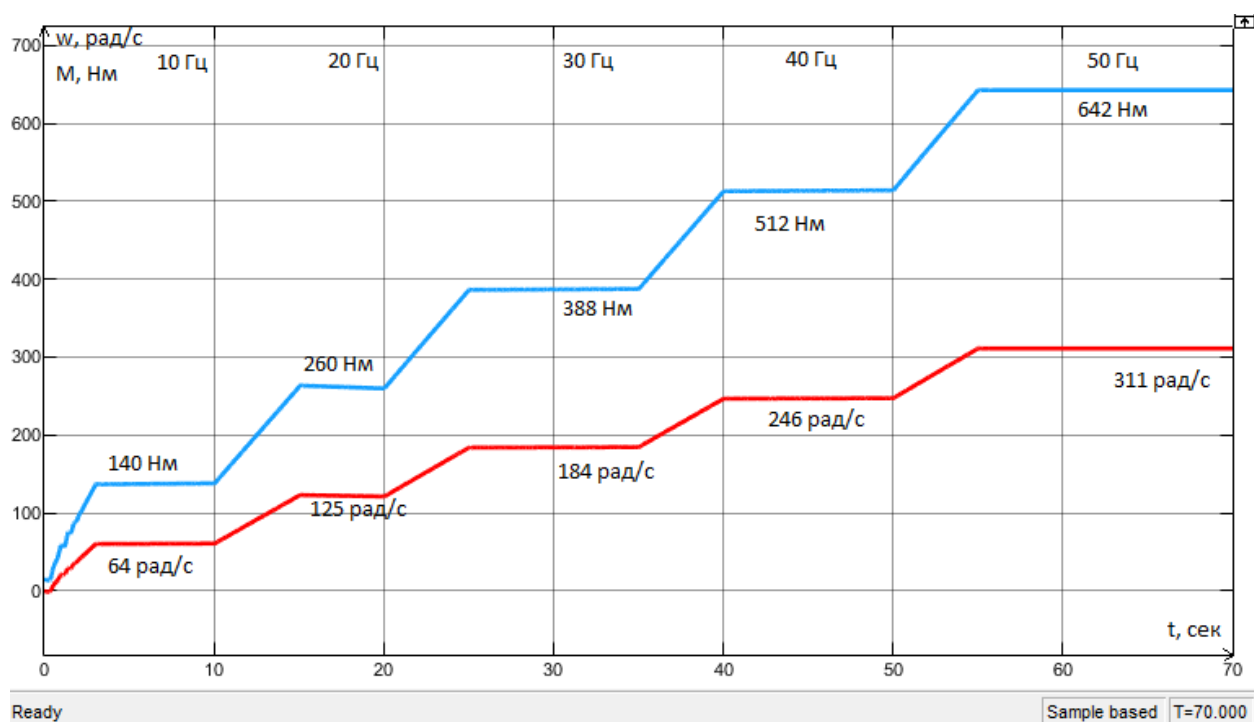


Рисунок 6.2 – Иллюстрация изменения скорости и тока АД при частотном пуске.

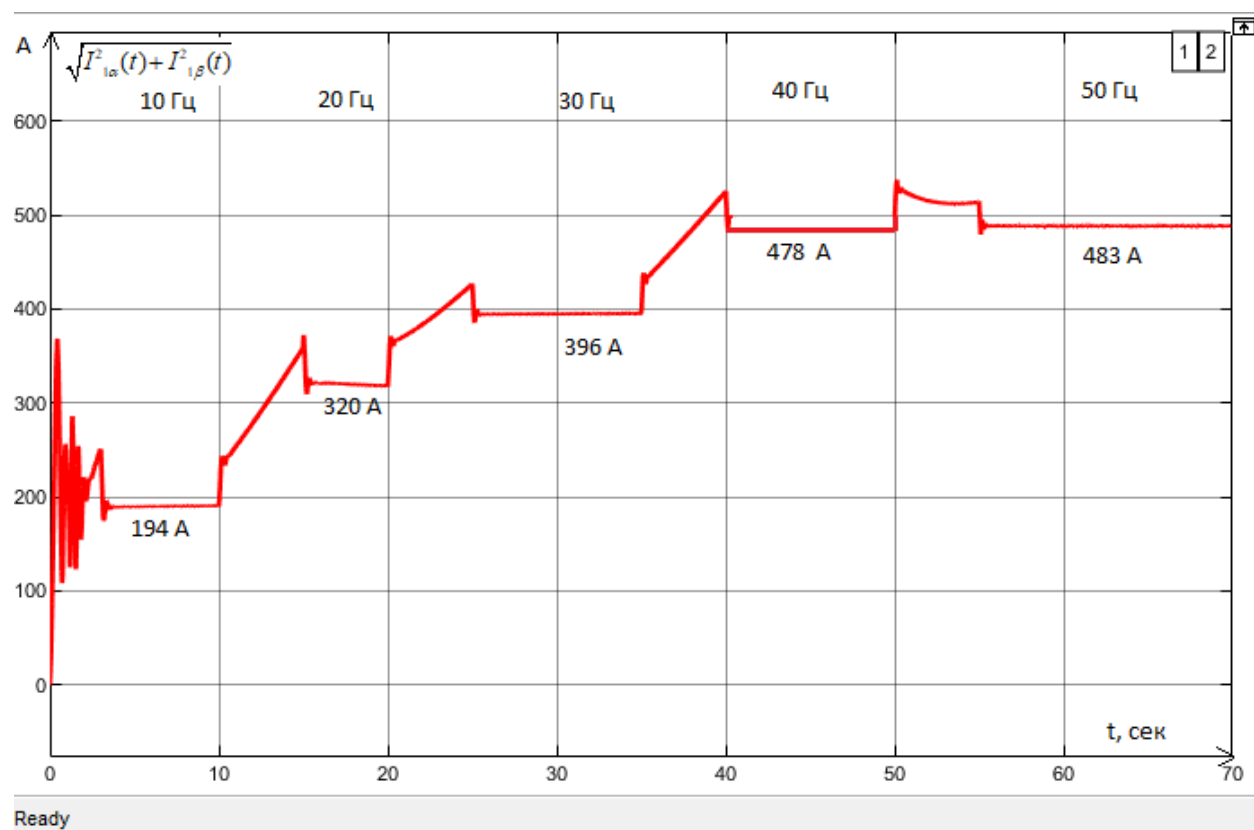


Рисунок 6.3 - Переходные процессы модуля тока статора АД при частотном пуске.

Вывод:

В данном разделе был выполнен расчет переходных процессов скорости и момента для режима пуска и плавного увеличения нагрузки на валу двигателя системы “преобразователь частоты – асинхронный двигатель”

По результатам моделирования в профессиональной среде MatLab, рис. 6.2 и 6.3 можно сделать вывод, что РАЭД в составе ДКС ГТУ имеет хорошие регулировочные свойства, обладает широким диапазоном регулирования 1:5.

РАЭД в составе ДКС является менее энергозатратным, чем не РАЭД в составе ДКС. Достоверность этих данных подтверждаются моделированием в программной среде Matlab – рисунок 6.2 и 6.3.

## **Заключение теоретического раздела:**

В результате проделанной работы:

1. Рассмотрены назначение и принцип действия ДКС ГТУ. Составлены схемы технологического процесса (ТП) и схема технологического оборудования. Проанализированы технологические переменные, управляющие воздействия. Рассмотрен график нагрузки ГТУ, на основании которого принято решение о целесообразности использования РАЭП ДКС ГТУ.
2. Рассчитан требуемый АЭД и выбран АЭД АИМУ 315 280 М2, параметры которого представлены в таблице 1. Рассчитана схема замещения АЭД. Выполнена проверка адекватности расчетных параметров АЭД. Был выбран тип преобразователя частоты SIMENS Micromaster 430, параметры которого представлены в таблице 2.1.2.
3. Рассмотрена структурная схема силового канала ЭП. Выбрана функциональная схема частотно регулируемого асинхронного ЭП со скалярным управлением без датчика скорости. Рассчитаны параметры элементов структурной схемы силового канала ЭП. Рассчитаны естественные характеристики АЭД. По результатам расчетов можно сделать вывод, что параметры АЭД рассчитаны верно.
4. Рассчитаны и построены искусственные механические и электромеханические характеристики системы “преобразователь частоты - асинхронный двигатель”.

Исходя из полученных результатов моделирования в программной среде Mathcad, можно сделать вывод, что поставленные задачи и требуемые результаты выполнены. Диапазон регулирования составил 1:5.

Выполнено моделирование переходных процессов в программной среде Matlab.

5. Построены графики переходных характеристик скорости ротора, момента, тока АД при пуске под нагрузкой.



Из рис. 5.4 и 5.5 видно, что данные, полученные при моделировании в среде MATLAB Simulink, практически совпали с расчетными значениями в среде MathCad.

6. Выполнен расчет переходных процессов скорости и момента для режима пуска и наброса нагрузки на валу двигателя системы “преобразователь частоты – асинхронный двигатель”.

В результате моделирования получены следующие результаты:

- Снижение пусковых токов асинхронного электродвигателя (АЭД), на 10,5% от паспортного значения, в составе ДКС ГТУ;
- Снижение мощности потерь электроэнергии в среднем на 33 кВт;

Достоверность полученных результатов подтверждается корректностью сделанных допущений, построением моделей в профессиональной среде Matlab.

По результатам моделирования в профессиональной среде MatLab, рис. 6.2 и 6.3 можно сделать вывод, что РАЭД в составе ДКС ГТУ имеет хорошие регулировочные свойства, обладает широким диапазоном регулирования 1:5. Это позволяет регулировать скорость вращения двигателя в широких пределах и обеспечить плавный запуск двигателя, что делает процесс подготовки газа менее энергозатратным.

## **7. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ**

### **Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение**

Целью раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» является определение перспективности и успешности магистерской диссертации, а так же модернизации оборудования при частотном регулировании электропривода двигателя компрессора. Исследования, проводимые в данной магистерской диссертации, являются инициативными в рамках работы для АО «Томская генерация».

В настоящее время система управления производительностью ДКС ГТУ состоит из:

- Цифровой контроллер;
- Байпасный клапан с электро-пнеumo-приводом;
- Винтовой компрессор с золотником.

Система специально подобрана для газотурбинного режима работы. Она состоит из двух замкнутых контуров управления. Первый контур контролирует положение золотника и позволяет управлять производительностью в диапазоне от 15 до 100%. Это обеспечивает высокую эффективность работы даже при частичных нагрузках.

Анализ преимуществ и недостатков системы управления производительностью с использованием золотникового механизма.

Преимущества:

1. Быстрая реакция и точность системы управления позволяют минимизировать (и в некоторых случаях даже исключить) объем буферного устройства для выходного газа.

Недостатки:

2. Большие пусковые токи асинхронного электродвигателя (АЭД) в составе ДКС ГТУ;
3. Большие потери электроэнергии;
4. Большие топливные затраты.

Проект регулируемого асинхронного электропривода ДКС ГТУ по системе преобразователь частоты (ПЧ) - АЭД. Включает в себя следующее основное оборудование:

- ПЧ SIMENS Micromaster 430
- Двигатель АИМУ 315 280 М2
- Компрессор 38/110

Преимущества использования нового оборудования:

5. Снижение пусковых токов асинхронного электродвигателя (АЭД), в составе ДКС ГТУ;
6. Снижение потерь электроэнергии;
7. Экономия топлива.

Внедрение такой системы позволит снизить пусковые токи, что увеличит срок службы двигателя, уменьшить потребление электрической энергии. В последнее время Россия стремится все больше решить вопрос энергосбережения на производстве в одну из актуальных тем. Это тенденция началась с ростом цен на электроэнергию. Снижение энергозатрат уменьшает себестоимость производимой продукции, что существенно улучшает ее конкурентоспособность. Энергосбережение на производстве, по сути, сводится к снижению потерь энергии в потребителях. Учитывая, что, как правило, основными потребителями на производстве являются электродвигатели, можно сделать вывод, что одной из приоритетных задач энергосбережения является снижение потерь в электроприводе. В ходе выполнения данной части будут определены необходимые капитальные вложения, срок окупаемости проекта, его прибыльность.

Таким образом, потенциальными потребителями результатов этого исследования являются предприятия генерирующие электроэнергию и тепло, расположенные на территории Российской Федерации. В условиях кризиса многое оборудование стало экономически не выгодно, и появилась необходимость на замену оборудования Российского производства. Учитывая закон

президента РФ от 05.04.2013г. №44-ФЗ (закон о госзакупках), Импортозамещения.

### 7.1 Сегментирование рынка

Сегментируем рынок по следующим критериям: размер компании заказчика, вид электропривода.

	Вид электропривода			
	Электропривод постоянного тока	Электропривод переменного тока	Электропривод АД с фазным ротором	Электропривод с частотным регулированием
Крупные	Фирма А			Фирма Б
Средние	Фирма А	Фирма Б	Фирма В	
Мелкие		Фирма Б	Фирма Г	

Описание участников рынка:

Фирма А: ОАО «Российские железные дороги» (ОАО «РЖД») — российская государственная, владелец инфраструктуры общего пользования и крупнейший перевозчик российской сети железных дорог.

Фирма Б: Крупные ТЭЦ. ТЭЦ - разновидность тепловой электростанции, которая не только производит электроэнергию, но и является источником тепловой энергии в централизованных системах теплоснабжения (в виде пара и горячей воды, в том числе и для обеспечения горячего водоснабжения и отопления жилых и промышленных объектов).

Фирма В: **Рудно-Горные Технологии** — это крупнейший поставщик оборудования для предприятий горнодобывающего, угольного и горно-строительного комплексов России.

Фирма Г: компания «НПФ Мехатроника-Про» специализируется на разработке программного обеспечения для систем управления электродвигателями и программируемыми логическими контроллерами, а также осуществ-

влияет выполнение контрактных НИОКР в области создания систем управления электроприводами согласно Техническому заданию Заказчика.

Результат сегментирования: главным секторам рынка принадлежат применение электропривода с частотным регулировкой средними и небольшими фирмами. Наиболее предпочтительной считается рекомендация электропривода с частотным регулировкой средним фирмам. Сегментом рынка, заманчивых для компании в перспективе, считается рекомендация электропривода с частотным регулировкой небольшим, активно развивающимся, фирмам.

## **7.2 FAST-анализ**

Выбор объекта FAST-анализа: объектом FAST-анализа является РАЭП ДКС ГТУ (регулируемый асинхронный электропривод дожимной компрессорной станции газотурбинной установки)

Описание главной, основных и вспомогательных функций, выполняемых объектом:

Функции объекта:

Главная функция: Подготовка топливного газа для ГТУ.

Основные функции объекта исследования: регулирование производительности ДКС в зависимости от заданной, по графику нагрузки, выдаваемой мощности ГТУ.

Вспомогательные функции: точность, быстродействие РАЭП.

Таблица 7.2.1 – Классификация функций, выполняемых объектом исследования

Наименование детали (узла, процесса)	Количество деталей на узел	Выполняемая функция	Ранг функции		
			Главная	Основная	Вспомогательная
Компрессор винтовой	1	Сжатие газа	*		
Двигатель асинхронный	1	Приводим во вращение компрессор		*	*
Масляный сепаратор	1	Отделение газа от масла		*	
Преобразователь частоты	1	Изменение частоты сети	*		*

Определение значимости выполняемых функций объектом

Строим матрицу смежности функции и преобразуем матрицу смежности в матрицу количественных соотношений функций

Таблица 7.2.2 – Матрица смежности

	1	2	3	4	Итог	Значимость функции
1 Компрессор винтовой	1	1,5	1,1	1,5	5	0,3125
2 Двигатель асинхронный	1	1,5	1	1,5	5	0,3125
3 Масляный сепаратор	0,5	1	0,5	1	3	0,1875
4 Преобразователь частоты	0,5	0,5	1	1	3	0,1875
					16	1

**Анализ стоимости функций выполняемых объектом исследования**

Расчет стоимости функций приведен в таблице 7.2.3.

Таблица 7.2.3 – Определение стоимости функций, выполняемых объектом исследования

Наименование детали (узла, процесса)	Количество деталей на узел	Функция	Себестоимость, руб. за шт.
Компрессор винтовой	1	Сжатие газа	160000
Двигатель асинхронный	1	Приводим во вращение компрессор	260000
Масляный сепаратор	1	Отделение газа от масла	380000
Преобразователь частоты	1	Изменение частоты питающей сети	590000
			1390000

### Построение функционально-стоимостной диаграммы объекта и ее анализ

Информация об объекте исследования, собранная в рамках предыдущих стадий, на данном этапе обобщается в виде функционально-стоимостной диаграммы (ФСД) рисунке 7.2.1.

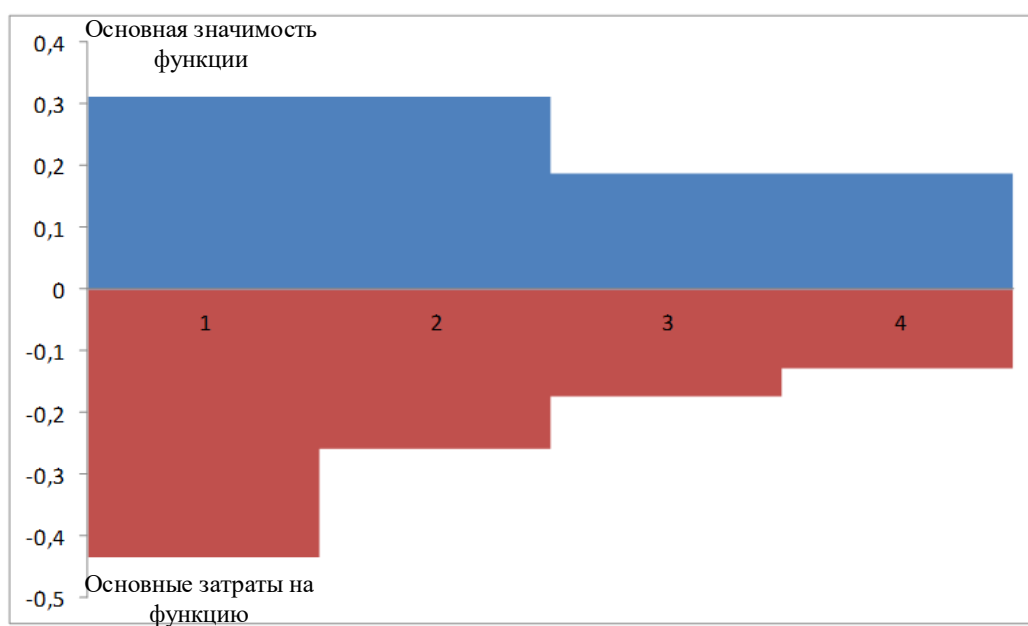


Рис. 7.2.1. Функционально-стоимостная диаграмма

Анализ приведенной выше ФСД показывает наличие рассогласования по функции 1. Необходимо провести работы по ликвидации данной диспропорции.

### Оптимизация функций выполняемых объектом

Экономия будут осуществляться за счет применения принципиально новых конструкторских решений, унификации сборочных единиц и деталей, совмещения функций в сборочных единицах и деталях.

В результате проведения FAST-анализа выявлено, что снижение затрат на единицу полезного эффекта, достигнуто путем повышения качества при сохранении уровня затрат, а так же уменьшения затрат при сохранении уровня качества, сокращения затрат при обоснованном снижении технических параметров до их функционально необходимого уровня. Повышения качества при некотором, экономически оправданном увеличении затрат.

### 7.3 Диаграмма Исикава

Диаграмма причины-следствия Исикавы (Cause-and-Effect-Diagram) - это графический метод анализа и формирования причинно-следственных связей, инструментальное средство для систематического определения причин проблемы и последующего графического представления [12].

Причинно-следственная диаграмма представлена на рисунке 7.3.1.

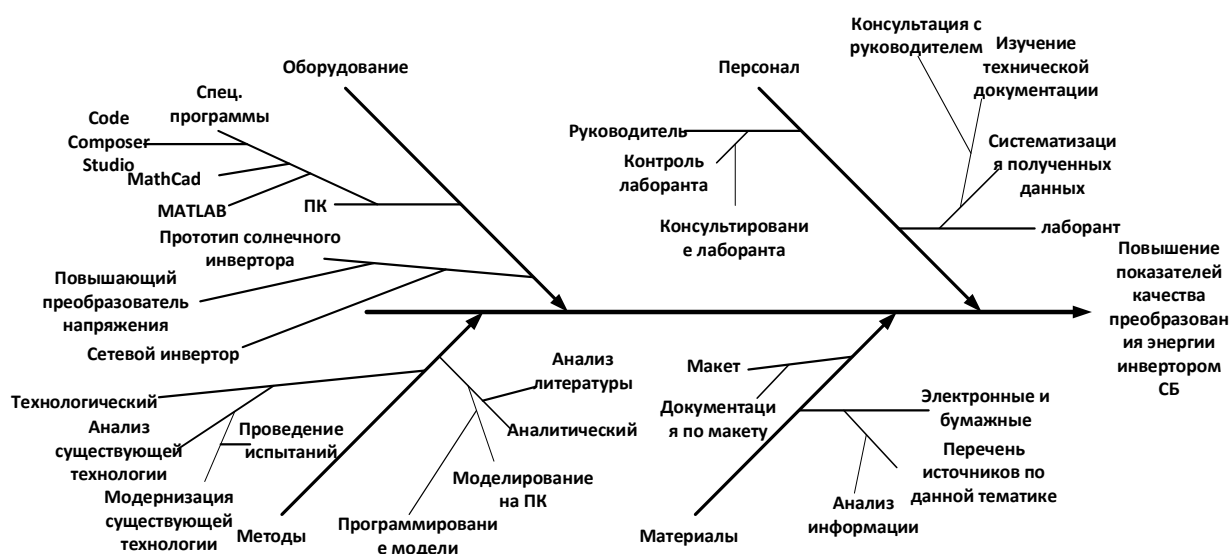


Рис7.3.1. Причинно-следственная диаграмма



## 7.4 Матрица SWOT

SWOT-анализ SWOT - Strengths (сильные стороны), Weakness (слабые стороны), Opportunities (возможности) и Threats (угрозы) – анализ является инструментом стратегического менеджмента. Представляет собой комплексное исследование технического проекта.

SWOT-анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта. Для проведения SWOT-анализа составляется матрица SWOT, в которую записываются слабые и сильные стороны проекта, а также возможности и угрозы.

**Сильные стороны.** Сильные стороны – это факторы, характеризующие конкурентоспособную сторону проекта

1. Энергоэффективность;
2. Текущая доля на рынке;
3. Технический уровень производства;
4. Более низкая стоимость ЭЭ по сравнению с другими технологиями;
5. Хорошая инфраструктура.

**Слабые стороны.** Слабость – это недостаток, упущение или ограниченность научно-исследовательского проекта, которые препятствуют достижению его целей.

1. Потери ЭЭ в электрических сетях составляют 14 %;
2. Занимают большие территории;
3. Большие затраты на доставку сырья.

**Возможности.** Возможности включают в себя любую предпочтительную ситуацию в настоящем или будущем, возникающую в условиях окружающей среды проекта.

**Угроза** представляет собой любую нежелательную ситуацию, тенденцию или изменение в условиях окружающей среды проекта, которые имеют разрушительный или угрожающий характер для его конкурентоспособности в настоящем или будущем.

При составлении матрицы SWOT удобно использовать следующие обозначения:

С – сильные стороны проекта;

Сл – слабые стороны проекта;

В – возможности;

У – угрозы;

Матрица SWOT приведена в таблице 7.4.1.

	<p>Сильные стороны проекта:</p> <p>С1. Высокая энергоэффективность и экономичность технологии.</p> <p>С2. Экологичность технологии. С3. Повышение надежности технологии</p> <p>С4. Квалифицированный персонал</p>	<p>Слабые стороны проекта:</p> <p>Сл1. Сложность ремонта некоторых частей оборудования</p> <p>Сл2. Дороговизна оборудования</p> <p>Сл3. Сложность эксплуатации электрооборудования</p>
<p><b>Возможности:</b></p> <p>В1. Появление дополнительной автоматизированной системы управления</p> <p>В2. Снижение стоимости на электроэнергию и материалы, используемые при научных исследований</p> <p>В3. Повышение стоимости конкурентных разработок</p> <p>В4. Развитие технологий в данной отрасли</p>	<p>В1С1С2С3С4;</p> <p>В2С1С3С4;</p> <p>В3С3С4;</p> <p>В4С1С2С3С4;</p>	<p>В1Сл2;</p> <p>В2Сл1Сл2;</p> <p>В3Сл2;</p> <p>В4Сл2;</p>
<p><b>Угрозы:</b></p> <p>У1. Отсутствие спроса на технологию</p> <p>У2. Развитая конкуренция технологий производства</p> <p>У3. Введения дополнительных государственных требований к стандартизации и сертификации продукции</p> <p>У4. Угрозы выхода из строя оборудования</p>	<p>У1С1С3;</p> <p>У2С4;</p> <p>У3С4;</p> <p>У4С3</p>	<p>У1Сл2;</p> <p>У2Сл1Сл2;</p> <p>У3Сл2;</p> <p>У4Сл1Сл2Сл3;</p>

На основании матрицы SWOT строятся интерактивные матрицы возможностей и угроз, позволяющие оценить эффективность проекта, а также надежность его реализации.

При построении интерактивных матриц используются следующие обозначения:

С – сильные стороны проекта;

Сл – слабые стороны проекта;

В – возможности;

У – угрозы;

«+» – сильное соответствие

«-» – слабое соответствие;

Таблица 7.4.2 – Интерактивная матрица возможностей.

Возможности	Сильные стороны проекта					
		C1	C2	C3	C4	
	B1	+	+	+	+	
	B2	+	-	+	+	
	B3	-	+	+	+	
	B4	+	+	+	+	
	Слабые стороны проекта					
		Сл1	Сл2	Сл3		
	B1	-	+	-		
	B2	+	+	-		
	B3	-	+	-		
	B4	-	+	-		

Таблица 7.4.3 – Интерактивная матрица угроз

Возможности	Сильные стороны проекта				
		C1	C2	C3	C4
	У1	+	-	+	-
	У2	-	-	-	+
	У3	-	-	-	+
	У4	-	-	+	-
	Слабые стороны проекта				
		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4
	У1	-	+	-	-
	У2	+	+	-	-
	У3	-	+	-	-
	У4	+	+	+	-

В результате проведения SWOT-анализа были выявлены как сильные, так и слабые стороны технического проекта. Данный технический проект имеет несколько важных преимуществ, таких как внедрение продукта на мировой уровень, в различные технологические процессы, которые обеспечат повышение производительности, безопасности и надежности. Так же установлен недостаток - отсутствие спроса на технологии производства, который может повлиять на дальнейшее использование продукта.

### 7.5 Разработка графика проведения научного исследования

Построим график проведения научного исследования в виде графика Ганта, который представляет собой график зависимости работ от времени их выполнения.

Для удобства построения графика длительность каждого из этапов работ из рабочих дней переведем в календарные дни. Для этого нужно воспользоваться следующей формулой:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{кал}$$

где  $T_{ki}$  – продолжительность выполнения  $i$ -ой работы в календарных днях;

$k_{кал}$  – коэффициент календарности.

$T_{ki}$  необходимо округлить до целого числа.

Пример расчета для работы №1 из таблицы 4:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{кал} = 1,48 \cdot 2 = 2,96 = 3 \text{ дн}$$

Коэффициент календарности определяют по следующей формуле:

$$k_{кал} = \frac{T_{кал}}{T_{кал} - T_{вых} - T_{пр}}$$

где  $T_{кал}$  – количество календарных дней в году;

$T_{вых}$  – количество выходных дней в году;

$T_{пр}$  – количество праздничных дней в году.

Расчет коэффициента календарности:

$$k_{кал} = \frac{365}{365 - 118} = 1,48$$

В таблице 7.5.1 представлены все расчетные значения.

Таблица 7.5.1 – Временные показатели проведения НИ

Номер рабо- ты из табл. 5	Трудоемкость работ						Испол- нители		Длитель- ность работ в рабочих днях $T_{pi}$		Длитель- ность работ в календар- ных днях $T_{ki}$	
	$t_{\min}$ , чел-дни		$t_{\max}$ , чел- дни		$t_{ож}$ , чел- дни							
	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 1	Исп. 2
1	–	1	–	2	–	1,4	–	+	–	2	–	3
2	–	1	–	2	–	1,4	–	+	–	2	–	3
3	2	–	4	–	2,8	–	+	–	3	–	5	–
4	1		2		1,4		+	+	1	1	2	2
5	6	–	10	–	7,6	–	+	–	8	–	12	–
6	4	–	7	–	5,2	–	+	–	6	–	9	–
7	8	–	11	–	9,2	–	+	–	10	–	15	–
8	3	–	5	–	3,8	–	+	–	4	–	6	–
9	4	–	7	–	5,2	–	+	–	6	–	9	–
10	8	–	9	–	8,4	–	+	–	9	–	14	–
11	7	–	8	–	7,4	–	+	–	8	–	12	–
12	3	–	5	–	3,8	–	+	–	4	–	6	–

Примечание: исп. 1 – инженер–наладчик (Автор ВКР); исп. 2 – старший инженер

В таблице 4 отражены количества дней, выраженные в рабочих и календарных днях, отводимых на выполнение различных частей научного исследования. На основе этого составлена таблица 5 «Календарный план-график проведения НИ по теме», в которой отражен календарный план работ в виде графика Ганта.

Инженер–наладчик - электромонтер не принимает участие в разработке исследования. Разработку как правильно проводят административно-технический состав, электромонтер, в основном проводит работы.

Таблица 7.5.2 – Календарный план – график проведения НИ по теме

№ работ	Вид работ	Исполнители	$T_{ki}$ кал.дн.	Продолжительность выполнения работ											
				февраль				март			апрель			май	
				10-12	13-15	16-20	21-22	23-6	7-15	16-30	31-5	6-14	15-28	29-10	11-16
1	Назначение и утверждение темы диссертации	Ст. инженер	3												
2	Выбор необходимой литературы	Ст. инженер	3												
3	Изучение литературы и статьи	Инженер-наладчик	5												
4	Составление календарного плана работ	Ст. инженер,	2												
5	Расчет параметров АД, выбор оборудования	Инженер наладчик	12												
6	Выбор преобразователя частоты Расчета блока частот.регулировки	Инженер наладчик	9												
7	Моделирование режимов работы АД	Инженер наладчик	15												
8	Разработка средств энергетических показателей	Инженер наладчик	6												
9	Анализ полученных результатов	Инженер наладчик	9												
10	Анализ конкурентных технических решений	Инженер наладчик	14												
11	Анализ воздействия вредных факторов при работе с электроприводом	Инженер наладчик	12												
12	Оформление ПЗ и чертежей	Инженер наладчик	6												



–Ст.инженер



–Инженер-наладчик (Автор ВКР)

Ранее было произведено планирование научно исследовательских работ, а именно: определили структуру работ в рамках научного исследования, трудоемкость выполнения работ, разработали график проведения научного исследования. Все это позволило правильно распределить время, необходимое для проведения различных работ в рамках научного исследования.

## **7.6 «Портрет» потребителя результатов НТИ**

### **7.6.1 Модернизация электропривода компрессора дожимной компрессорной станции (ДКС) газотурбинной установки (ГТУ)**

В этом разделе определена стоимость установки нового оборудования для модернизации технологического процесса подготовки топливного газа (ТГ) для газотурбинной установки (ГТУ), с использованием регулируемого асинхронного электропривода дожимной компрессорной станции (ДКС) по системе ПЧ-АД. На модернизацию установки подготовки товарного газа было потрачено 1049 тыс. руб, в таблице 1 приведены цены на некоторое технологическое и вспомогательное оборудование.

Таблица 7.6.1 – Новое оборудование компрессорной станции

№	Наименование	Стоимость, руб
1	ПЧ SIMENS Micromaster 430	590 000
2	Двигатель АИМУ 315 280 М2 мощностью 200 кВт	260 000
3	Компрессор 38/110	160000
4	Датчик давления	34000
5	Комплектующие	6000
Итого		1 049 000



Описание старого оборудование, которое планируется заменить.

Таблица 7.6.2

№	Наименование	Стоимость, руб
1	Золотниковый механизм	330 000
2	Электродвигатель DNGW-315LN-02A Мощностью 250 кВт	660 000
3	Компрессор 38/110	160000
4	Датчики	50000
Итого		1 200 000

Планируется установить новый двигатель мощность 200 кВт, что меньше, чем старый на 50 кВт. За счет регулирования производительности по системе ПЧ - АЭД и использования двигателя меньшей мощности удастся сэкономить электроэнергию.

Старое оборудование было менее энергоэффективным. Цена старого оборудование было выше на 151000руб.

Ликвидационная стоимость старого оборудования составила 450 тыс. руб., старые электродвигатели, насосы, запорная арматура, трубопроводная арматура были реализованы как лом и как запасные ремонтные детали. Согласно паспортным данным срок эффективного использования нового оборудования составляет 4 лет, соответственно затраты на амортизацию должны распределить поровну на все 4 лет. Ежегодная величина амортизации составила  $(1049 \text{ т.р.} - 450 \text{ т.р.}) / 4 \text{ года} = 149,75 \text{ тыс. руб.}$  Ликвидационная стоимость нового оборудования приблизительно составит 450 тыс. руб.

### **7.6.3 Затраты на монтаж нового оборудования**

Монтажные работы являются важнейшим звеном подготовки оборудования, обеспечивающим ввод в эксплуатацию электротехнического оборудования. Эти работы должны выполняться высококвалифицированными специалистами и рабочими по заранее составленным планам. Исходя из выше перечисленного, в состав бригады входят:

- а) старший инженер-наладчик;
- б) инженер-наладчик (автор ВКР);
- в) инженер наладчик-электромонтер

В состав затрат на монтаж нового оборудования включается стоимость всех расходов, необходимых для реализации комплекса работ, составляющих содержание монтажных работ.

В смету затрат на выполнение монтажных работ входят следующие элементы затрат:

1. Материальные затраты;
2. Заработная плата;
3. Отчисления на социальные выплаты;
4. Накладные расходы.

### **7.6.4 Материальные затраты**

Для модернизации ДКС необходимо:

- Преобразователь фирмы SIMENS Micromaster 430;
- Двигатель АИМУ 315 280 М2;
- Компрессор 38/110;
- Датчик давления;
- Счётчик расходомер;

- Микроконтроллер;
- Модуль PROFibus; и комплектующие.

Под комплектующими подразумеваются: болты, винты, гайки, шайба, пружины, различные разъемы, вилки, розетки, зажимы, соединительные кабели и провода, пульта и кнопки управления. Данные компоненты покупаются, их стоимость приведена в таблице 1.

#### **7.6.5 Затраты на оплату труда**

Заработная плата работникам бригады выплачивается по аккордной системе. Принцип распределения в зависимости от количества и качества труда предполагает увязку системы заработной платы не только с качеством труда, но и с его количеством, т.е. производительностью труда. Мерой количества труда является отработанное рабочим время. Установленные для отдельных категорий работников формы и системы оплаты труда должны материально заинтересовать их в повышении количественных и качественных показателей работы.

Правильный выбор форм и систем оплаты труда является важным экономическим фактором стимулирования эффективности работы коллектива.

Для бригады наиболее эффективной является аккордная система оплаты труда. Эта система представляет собой разновидность сдельной системы, при которой сдельная расценка (сумма аккордного наряда) устанавливается на значительный объем работ без установления норм и расценок на отдельные ее элементы. При этом определяется срок окончания всей работы. Расчет с рабочими по аккордной системе производится после выполнения всего объема работ. Если выполнение аккордного задания требует значительного времени, то по аккордным нарядам выплачивается аванс за текущий месяц с учетом выполненного объема работ, а окончательный расчет производится после завершения всей работы.

Аккордная система является бригадной, и аккордный заработок распределяется между членами бригады. Аккордная система может сочетаться с выплатой премий за улучшение качества работы и сокращения сроков ее выполнения.

#### **7.6.6 Отчисления на социальные выплаты**

Целесообразно выделить бригаде, состоящей из трех человек, на оплату труда, для проведения монтажных работ, сумму в 8300 руб.

При заключении трудового договора и начислении заработной платы предприятие должно заплатить социальное страхование, отчисления на социальное страхование составляет 30 %. Отчисления на социальные выплаты

$$Отч = \sum Z_{np} \cdot 30\% = 8300 \cdot 0,3 = 2490 \text{ руб/мес}$$

#### **7.6.7 Накладные расходы**

Накладные расходы – это расходы, связанные с производством, управлением и хозяйственным обслуживанием, при расчете сметы данные расходы принимаем равными 20 % от заработной платы, осуществляющих монтажные работы

$$НР = \sum Z_{np} \cdot 0,2\% = 8300 \cdot 0,2 = 1660 \text{ руб/мес}$$

Суммарные затраты на проведение монтажных работ сведены в таблицу 2.

Таблица 7.6.7.1 – Суммарные затраты на проведение монтажных работ и оборудования

№	Статья затрат	Сумма, руб.
1	Оборудование	1 049 000
2	Заработная плата	8300
3	Отчисления на социальные цели	2490
4	Накладные расходы	1600
5	Итого себестоимость монтажных работ	1 061 390

Работы проводились собственными силами, поэтому в расчетах не учитывались плановые накопления и НДС.

#### 7.6.8 Расчет эксплуатационных затрат

Затраты на технологическую энергию:

Вследствие полной автоматизации технологического процесса снизились годовые затраты на потребление электроэнергии электроприводом. Сейчас они составляют приблизительно 1583600 кВт, в то время как до модернизации составляли 1981429 кВт. Тариф за кВт/ч в Томской области составляет 3.93 руб/ кВт ч

$$C_{\text{год.затр.на ЭЭ}} = P_{\text{выр}} \cdot C_{\text{ЭЛ}} = 1583600 \cdot 3,93 = 6223548 \text{ руб/год}$$

$$C_{\text{год.затр.на ЭЭ}} = P_{\text{выр}} \cdot C_{\text{ЭЛ}} = 1981429 \cdot 3,93 = 7787015 \text{ руб/год}$$

где  $C_{\text{ЭЛ}}=3,93$  руб./кВт·ч – цена за электроэнергию.

Затраты на заработную плату обслуживающего персонала:

При обслуживании УПТГ персонал имеет повременную оплату труда. Оплата труда включает в себя основную и дополнительную заработную плату. К основной относится оплата, начисленная за проработанное время на предприятии и различные доплаты (сверхурочная работа, работа в выходные дни, региональные надбавки, премии, районный коэффициент).

#### **7.6.9 Расчет затрат на заработную плату обслуживающему персоналу до модернизации электропривода компрессора:**

Дневная заработная плата

$$З = \frac{З_M \cdot K_{II}}{F_D} = \frac{10000 \cdot 1,3}{26} = 500 \text{ руб/день}$$

где  $З_M$  – заработная плата в месяц,

$K_{II} = 1,3$  – коэффициент, учитывающий выплату премии и доплат,

$F_D = 26$  – количество рабочих дней в месяц.

Основная заработная плата

$$З_{ОСН} = З \cdot \tau_P = 500 \cdot 26 = 13000 \text{ руб/день}$$

где  $\tau_P = 26$  дней – период рабочего времени

Дополнительная заработная плата:

Дополнительная заработная плата – это выплаты за неотработанное время (оплата отпусков и т. д.).

$$З_{ОСН} = З_{ОСН} \cdot 0,15 = 13000 \cdot 0,15 = 1950 \text{ руб/мес}$$

$$З_{ИП} = З_{ОСН} + З_{ДОП} = 13000 + 1950 = 14950 \text{ руб/мес}$$

Учитывая, что до модернизации УПТГ обслуживала бригада, состоящая из 4 человек, тогда сумма затрат на заработную плату:

$$C_3 = З_{ИП} \cdot 4 = 14950 \cdot 4 = 59800 \text{ руб/мес}$$

### 7.6.10 Отчисления на социальные выплаты

Социальное страхование равно 30 %, в эти проценты входят обязательное пенсионное страхование с выплат, не превышающих предельную базу для начисления взносов, на обязательное медицинское страхование, предельной величины выплат нет, на обязательное социальное страхование с выплат в пределах лимита, платежей сверх лимита нет.

Социальные страхования 30 % от начисленной зарплаты, 0,2 % – отчисления на страхование от несчастных случаев на производстве.

$$Отч = C_3 \cdot 30\% = 59800 \cdot 0,3 = 17940 \text{ руб/мес}$$

Расчет затрат на заработную плату обслуживающему персоналу после модернизации электропривода компрессора:

Дневная заработная плата

$$З = \frac{З_М \cdot K_П}{F_Д} = \frac{10000 \cdot 1,3}{26} = 500 \text{ руб/день}$$

где  $З_М$  – заработная плата в месяц,

$K_П = 1,3$  – коэффициент, учитывающий выплату премии и доплат,

$F_Д = 26$  – количество рабочих дней в месяц.

Основная заработная плата:

$$З_{ОСН} = З \cdot \tau_p = 500 \cdot 26 = 13000 \text{ руб/день}$$

где  $\tau_p = 26$  дней – период рабочего времени

Дополнительная заработная плата:

Дополнительная заработная плата – это выплаты за неотработанное время (оплата отпусков и т. д.).

$$З_{ОСН} = З_{ОСН} \cdot 0,15 = 13000 \cdot 0,15 = 1950 \text{ руб/мес}$$

$$З_{ПР} = З_{ОСН} + З_{ДОП} = 13000 + 1950 = 14950 \text{ руб/мес}$$

После модернизации численность обслуживающего персонала сократилась вдвое и теперь составляет 2 человека.

$$C_3 = 3_{\text{ПП}} \cdot 2 = 14950 \cdot 2 = 29900 \text{ руб/мес}$$

Отчисления на социальные выплаты:

$$Отч = C_3 \cdot 30\% = 29900 \cdot 0,3 = 8970 \text{ руб/мес}$$

Расходы на содержание и эксплуатацию оборудования:

В расходы на содержание и эксплуатацию оборудования входят затраты на смазочные материалы, запасные детали.

$$PCЭO_{\text{ДПТ}} = 10\% \cdot C_j = 10\% \cdot 315000 = 31500 \text{ руб/год}$$

$$PCЭO_{\text{АД}} = 10\% \cdot C_j = 5\% \cdot 26000 = 13000 \text{ руб/год}$$

Суммарные эксплуатационные затраты

$$\begin{aligned} C_{\text{Сум.эсп.затр}} &= C_{\text{год.затр.ЭЭ}} + C_C + O_D + PCЭO_{\text{ДПТ}} = \\ &= 4976300 + 764400 + 200272,8 + 31500 = 5972472,8 \text{ руб/год} \\ C_{\text{Сум.эсп.затр}} &= C_{\text{год.затр.ЭЭ}} + C_C + O_D + PCЭO_{\text{АД}} = \\ &= 4436250 + 382200 + 100136,4 + 6150 = 4924736,4 \text{ руб/год} \end{aligned}$$

Из расчетов видно, что суммарные расходы за год на содержание УПТГ до модернизации, значительно превышают расходы на содержание после модернизации. Отсюда можно сделать вывод о гораздо большей эффективности использования электропривода переменного тока.

#### 7.6.12 Определение технико-экономических показателей

Срок окупаемости (Токуп) представляет собой период, за который вложенные средства окупятся доходами, полученными от реализации проекта.



$$T_{ОКУП} = \frac{K}{D_{Г}} \cdot \tau$$

$\tau = 20\%$  – ставка налога на прибыль, руб/год

$C_{\text{Стоим.эконом.ЭЭ}} = 1047736,4$  руб-данные рассчитываются предприятием

$$\sum НП = \frac{НБ_{ин} \cdot C_{ин}}{100} - \text{сумма налога на прибыль руб/год}$$

$$T_{ОКУП} = 1047736,4 \cdot \frac{20}{100} = 209547,28 \text{ руб/год}$$

Амортизационные отчисления

$$A = \frac{\gamma * C_{\text{себестоимость}}}{100}$$

$\gamma = 16,6\%$  – норма амортизационных отчислений

$$A = \frac{16,7 * 1684134,6}{100} = 281250,5 \text{ руб в год}$$

Определим денежные средства за расчетный год

$$\begin{aligned} P_{\text{ДЕН.СР-ВА ГОД}} &= C_{\text{Стоим.эконом.ЭЭ}} - T_{ОКУП} + A = \\ &= 1047736,4 - 209547,28 + 281250,5 = 1119439,2 \text{ год/руб} \end{aligned}$$

Определим срок окупаемости

$$K_{\text{срок.окуп}} = \frac{C_{\text{себестоимость}}}{P_{\text{ДЕН.СР-ВА ГОД}}} = \frac{1684134,6}{1119439,2} = 1,5 \text{ лет}$$

Согласно паспортным данным срок эффективного использования нового оборудования составляет 6 лет. Расчет показывает, что срок окупаемости приемлем. Произведем расчет чистого дисконтированного дохода (NPV), индекса доходности затрат (PI) и дисконтированного срока окупаемости (PP).

Чистый дисконтированный доход (NPV)

$$\begin{aligned} \Pi_t - \text{денежные поступления} &= \\ &= P_{\text{ДЕН.СР-ВА ГОД}} = 1119439,2 \text{ руб / год}; \end{aligned}$$

$d$  – ставка дисконтирования;

Пусть  $d = 0.15$  – норма дисконта. Тогда:

$$\begin{aligned} NPV &= \sum_t \frac{P_{\text{ДЕН.СР-ВА ГОД}}}{(1+d)^t} - C_{\text{себестоимость}} = \\ &= \frac{1119439,2}{(1+0,15)} + \frac{1119439,2}{(1+0,15)^2} + \frac{1119439,2}{(1+0,15)^3} - 1684134,6 = 871800 \text{ руб} \end{aligned}$$

Получившееся значение  $PI > 1$ , а значит, при данной ставке дисконтирования проект является прибыльным.

Так как  $NPV > 0$ , то при данной ставке дисконтирования проект является прибыльным.

Индекс доходности затрат (PI)

Индекс доходности (рентабельности) показывает, сколько приходится денежных поступлений на рубль инвестиций.

Если  $PI > 1$ , то проект является выгодным.

$$\begin{aligned} PI &= \frac{\sum_t \frac{P_{\text{ДЕН.СР-ВА ГОД}}}{(1+d)^t}}{C_{\text{себестоимость}}} = \\ &= \frac{\frac{1119439,2}{(1+0,15)} + \frac{1119439,2}{(1+0,15)^2} + \frac{1119439,2}{(1+0,15)^3}}{1684134,6} = 1.518 \end{aligned}$$

Дисконтированный срок окупаемости (PP)

При определении дисконтированного срока окупаемости, используется формула:

где  $K$  – одновременные инвестиции, осуществляемые в нулевом году;

ДП – денежные поступления;

$d$  – ставка дисконтирования.

$$PP = \frac{\log(1 - d \cdot \frac{C_{\text{себестоимость}}}{P_{\text{ДЕН.СР-ВА ГОД}}})}{\log(1 + d)} = \frac{\log(1 - 0.15 \cdot \frac{1684134.6}{1119439,2})}{\log(1 + 0.15)} = 1.8200$$

Таким образом, из полученных результатов можно сделать вывод о том, что данный проект по модернизации установки подготовки товарного газа является экономически привлекательным. Сумма всех капитальных затрат проекта составляет 1684134.6 руб., стоимость сэкономленной электроэнергии и экономии на обслуживании за год равна 1047736.4 руб. Срок окупаемости проекта составляет 1.5 года, в то время как дисконтированный срок окупаемости равен 1.9 года. Рассматривая получившиеся значения таких показателей как чистый дисконтированный доход (NPV), индекс доходности затрат (PI), можно заключить, что проект является экономически выгодным и привлекательным.

## 7.7 Оценка конкурентоспособности и ресурсоэффективности проекта

С этой целью может быть использована вся имеющаяся информация о конкурентных разработках:

- технические характеристики проекта;
- конкурентоспособность проекта;
- уровень завершенности научного исследования (наличие макета, прототипа, модели и т.п.);
- бюджет разработки и т.д.

Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения позволяет провести оценку сравнительной эффективности научного проекта и определить направления для его будущего повышения и реализации.

Для оценки ресурсоэффективности проекта были подобраны критерии эффективности такие как: экономичность, безопасность, обеспечение

надлежащего качества и надежности прибора, сфера применения и удобство использования.

1. Экономичность - оптимизация затрат на электрическую часть предприятия на стадии проектирования приводит к их уменьшению на доли процентов, в абсолютном же измерении речь идет об экономии значительных средств.

2. Под обеспечением надлежащего качества и надежности прибора понимается поставка потребителю нового, неизношенного прибора с допустимыми показателями его качества и исключения ситуаций, опасных для людей и окружающей среды.

3. Безопасность - это свойство прибора сохранять с некоторой вероятностью безопасное состояние при выполнении заданных функций в условиях, установленных нормативно-технической документацией.

Критерии ресурсоэффективности и их количественные характеристики приведены в таблице 7.7.1.

Таблица 7.7.1 - Сравнительная оценка характеристик проекта

Критерии	Весовой коэффициент	Балльная оценка разработки	Конкурентоспособность
1. Качество и надежность исполнения	0,25	5	1,25
2. Сфера применения и удобство использования	0,25	5	1,25
3. Безопасность	0,3	5	1,5
4. Экономичность	0,2	4	0,8
Итого:	1,00		4,8

Позиция оценивается по каждому показателю экспертным путем по пятибалльной шкале, где 1 – наиболее слабая позиция, а 5 – наиболее сильная. Значения показателей, определяемые экспертным путем, в сумме со-

ставляют 1. Анализ конкурентоспособности проекта определяется согласно выражению:

$$K = \sum B_j \cdot B_j$$

где К – конкурентоспособность научной разработки; Вj– вес показателя (в долях единицы); Bj– балл j-го показателя.

$$K_{\sum} = 0.25 \cdot 5 + 0.25 \cdot 5 + 0.3 \cdot 5 + 0.2 \cdot 4 = 4.8$$

Показатель ресурсоэффективности проекта имеет достаточно высокое значение (по 5-балльной шкале), что говорит об эффективности использования технического проекта. Высокие баллы качества, надежности и безопасности позволяют судить о надежности системы.

Из всего вышеперечисленного можно сделать вывод о том, что реализация данного технического проекта позволяет увеличить эффективность оборудования.

## **8. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ**

Социальная ответственность и охрана труда являются важнейшими составляющими любой деятельности, в особенности производственной, т.к. непосредственно связаны со здоровьем и жизнью человека.

Социальная ответственность - это сознательное отношение субъекта социальной деятельности к требованиям социальной необходимости, гражданского долга, социальных задач и, норм и ценностей, понимание осуществляемой деятельности для определенных социальных групп и личностей, для социального прогресса общества.

Охрана труда – совокупность нормативных, технических и правовых актов, мероприятий и правил, целью которых является сохранение здоровья и жизни работника в процессе трудовой деятельности. Данные мероприятия могут быть организационно-технического, санитарно-гигиенического, социально-экономического, лечебно-профилактического, реабилитационного характера.

Индивидуальная ответственность может проявляться во внутренней и внешней среде. Она является основой дисциплины и своеобразным предохранителем от ошибочных решений.

Научно-исследовательская работа направлена на расчёт параметров имитационной модели частотно регулируемого электропривода компрессора установки подготовки товарного газа, а также на оценку конкурентоспособности и планирование проектных работ; исследование рабочего места инженера с целью выявления вредных и опасных производственных и экологических факторов и средств защиты от них.

Для выполнения работы была использована программная среда Matlab, Mathcad, а также пакет Microsoft Office.

## **8.1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности**

### **8.1.1. Специальные (характерные для проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства**

Согласно ТК РФ, N 197 -ФЗ работник аудитории 241, 8 корпуса ТПУ имеет право на:

- рабочее место, соответствующее требованиям охраны труда;
- обязательное социальное страхование от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний в соответствии с федеральным законом;
- отказ от выполнения работ в случае возникновения опасности для его жизни и здоровья вследствие нарушения требований охраны труда, за исключением случаев, предусмотренных федеральными законами, до устранения такой опасности;
- обеспечение средствами индивидуальной и коллективной защиты в соответствии с требованиями охраны труда за счет средств работодателя;
- внеочередной медицинский осмотр в соответствии с медицинскими рекомендациями с сохранением за ним места работы (должности) и среднего заработка во время прохождения указанного медицинского осмотра;

### **8.1.2. Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны**

Рабочее место в аудитории 241, 8 корпуса ТПУ должно соответствовать требованиям ГОСТ 12.2.032-78. Оно должно занимать площадь не менее 4,5 м<sup>2</sup>, высота помещения должна быть не менее 4 м, а объем - не менее 20 м<sup>3</sup> на одного человека. Высота над уровнем пола рабочей поверхности, за которой работает оператор, должна составлять 720 мм. Оптимальные размеры поверхности стола 1600 x 1000 кв. мм. Под столом должно иметься пространство для ног с размерами по глубине 650 мм. Рабочий стол должен также иметь

подставку для ног, расположенную под углом 15° к поверхности стола. Длина подставки 400 мм, ширина - 350 мм. Удаленность клавиатуры от края стола должна быть не более 300 мм, что обеспечит удобную опору для предплечий. Расстояние между глазами оператора и экраном видеодисплея должно составлять 40 - 80 см.

Рабочее место сотрудника аудитории 241, 8 корпуса ТПУ соответствует требованиям ГОСТ 12.2.032-78.

## 8.2. Производственная безопасность

Расчёт подразумевает использование персонального компьютера - ПК, целесообразно рассмотреть вредные и опасные факторы, которые могут возникать при работе с оборудованием.

8.2.1. Анализ потенциально возможных и опасных факторов, которые могут возникнуть на рабочем месте при проведении исследований

Для выбора факторов использовался ГОСТ 12.0.003-2015 «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация» [2]. Перечень опасных и вредных факторов представлен в виде таблицы:

Таблица 8.2.1. Опасные и вредные факторы при выполнении работ по разработке программного модуля

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Этапы работ			Нормативные документы
	Разработка	Изготовление	Эксплуатация	
1.Отклонение показателей микроклимата	+	+	+	СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03 СанПиН 2.2.2.542-96 СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 СанПиН 2.2.4.1191-03 СП 52.13330.2011 СанПиН 2.2.4.548-96 СН 2.2.4/2.1.8.562-96
2. Превышение уровня шума		+	+	
3.Отсутствие или недостаток естественного света	+	+	+	
4.Недостаточная освещенность рабочей зоны		+	+	
5.Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека	+	+	+	



### 8.2.2. Разработка мероприятий по снижению воздействия вредных и опасных факторов

При использовании оборудования в аудитории 241 8 корпуса ТПУ, основным источником потенциально опасных факторов является ЭВМ и возможность поражения электрическим током. Использование данного оборудования может привести к наличию таких вредных факторов, как повышенный уровень статического электричества, повышенный уровень электромагнитных полей, повышенная напряженность электрического поля.

К основной документации, которая регламентирует вышеперечисленные вредные факторы относится СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 "Гигиенические требования к электронно-вычислительным машинам и организации работы":

ЭВМ должны соответствовать требованиям настоящих санитарных правил и каждый их тип подлежит санитарно-эпидемиологической экспертизе с оценкой в испытательных лабораториях, аккредитованных в установленном порядке[4].

Допустимые уровни электромагнитных полей (ЭМП) в аудитории 241, 8 корпуса ТПУ [5], создаваемых ЭВМ, не должны превышать значений [5], представленных в таблице 8.2.1:

Таблица 8.2.2: Допустимые уровни ЭМП, создаваемых ЭВМ

Наименование параметра	Диапазон	ДУ ЭМП
Напряженность электрического поля	в диапазоне частот 5 Гц - 2 кГц	25 В/м
	в диапазоне частот 2 кГц - 400 кГц	2,5 В/м
Плотность магнитного потока	в диапазоне частот 5 Гц - 2 кГц	250 нТл
	в диапазоне частот 2 кГц - 400 кГц	25 нТл
Напряженность электростатического поля		15 кВ/м

Уровни ЭМП, ЭСП в аудитории 241, 8 корпуса ТПУ, перечисленные в таблице 8.2.1 соответствуют нормам.[17]

### **8.3 Опасные факторы**

Электробезопасность:

Для предотвращения поражения электрическим током, где размещаются рабочее место с ЭВМ в аудитории 241, 8 корпуса ТПУ, оборудование оснащено защитным заземлением, занулением в соответствии с техническими требованиями по эксплуатации[16]. Напряжение для питания ЭВМ 220 В, для серверного оборудования 380 В. По опасности поражения электрическим током помещение 241, 8 корпуса ТПУ относится к первому классу – помещения без повышенной опасности.[16].

Основными непосредственными причинами электротравматизма, являются: 1) прикосновение к токоведущим частям электроустановки, находящейся под напряжением в случае пробоя изоляции; 2) прикосновение к металлическим конструкциям электроустановок, находящимся под напряжением; 3) ошибочное включение электроустановки или несогласованных действий обслуживающего персонала; 4) поражение шаговым напряжением.

Основными техническими средствами защиты, согласно ПУЭ [2], являются защитное заземление, автоматическое отключение питания, устройства защитного отключения, изолирующие электрозащитные средства, знаки и плакаты безопасности. Указанные средства защиты обеспечивают защиты от поражения электрическим током в аудитории 241, 8 корпуса ТПУ.

Рассчитано защитное заземление для шкафов релейной защиты и серверного оборудования, которое находится в аудитории 241, 8 корпуса ТПУ [18]:

1. В качестве заземляющего устройства (вертикальные электроды) используем стальные трубы диаметром  $d = 55$  мм, в качестве соединяющего элемента – стальная полоса шириной  $b = 50$  мм.

2. Сопротивлению грунта в районе размещения установки или устройства.

Таблица 8.3.1 Исходные данные для расчета

Вид заземления	контурное
Длина заземлителя $l$ , м	2,7
Глубина заземлителя в грунте $h$ , м	0,65
Сезонный коэффициент $K_c$	2,0
Удельное сопротивление земли $\rho$ , Ом·м	70
Диаметр $d$ , мм	55
Ширина соединительной полосы $b$ , мм	50
Допустимое сопротивление системы заземления по ПУЭ $R_{з.у.}$ , Ом	4
Уровень напряжения, В	220-380

3. Величина электрического сопротивления растекания тока в грунт с одиночного заземлителя:

$$R_z = 0,366 \frac{\rho \cdot K_c}{l} \left( \lg \frac{2l}{d} + \frac{1}{2} \lg \frac{4t+l}{4t-l} \right) =$$

$$= 0,366 \frac{70 \cdot 2}{2,7} \left( \lg \frac{2 \cdot 2,7}{0,055} + \frac{1}{2} \lg \frac{4 \cdot 2 + 2,7}{4 \cdot 2 - 2,7} \right) = 38,51 \text{ Ом},$$

где  $\rho = 70 \text{ Ом}$  – удельное сопротивление грунта,

$K_c = 2$  – коэффициент сезонности,

$l = 2,7 \text{ м}$  – длина заземлителя,

$d = 0,055 \text{ м}$  – диаметр заземлителя,

$t = h + 0,5l = 0,65 + 0,5 \cdot 2,7 = 2 \text{ м}$  – длина от поверхности земли до середины заземлителя.

4. Число заземлителей без взаимных помех, получаемых друг от друга, без так называемого явления «экранирования»:

$$n' = \frac{R_z}{R_{з.у.}} = \frac{38,51}{4} = 9,62 \approx 10$$

5. Число заземлителей с коэффициентом экранирования:

$$n = \frac{n'}{\eta_z} = \frac{10}{0,58} = 17,24 \approx 18$$

где  $\eta_z = 0,58$  – коэффициент экранирования [56].

Принимаем расстояние между заземлителями  $a = l = 2,7$  м.

6. Длина соединительной полосы:

$$l_n = 1,05 \cdot n \cdot a = 1,05 \cdot 18 \cdot 2,7 = 51 \text{ м}$$

7. Значение сопротивления растекания тока с соединительной полосы:

$$R_{II} = 0,366 \frac{\rho K_c}{l_n} \lg \frac{2l_n^2}{b \cdot h} = 0,366 \frac{70 \cdot 2}{51} \lg \frac{2 \cdot 51^2}{0,05 \cdot 0,65} = 5,1 \text{ Ом}$$

8. Полное сопротивление системы заземления:

$$R_{zy} = \frac{R_z \cdot R_{II}}{R_z \cdot \eta_n + R_{II} \cdot \eta_z \cdot n} = \frac{38,51 \cdot 5,1}{38,51 \cdot 0,51 + 5,1 \cdot 0,58 \cdot 18} = 2,63 \text{ Ом},$$

где  $\eta_n = 0,51$  – коэффициент экранирования полосы.

Таким образом, сопротивление  $R_{zy} = 2,63$  Ом не превышает 4 Ом. Следовательно, диаметр заземлителя  $d = 55$  мм при числе заземлителей  $n = 18$  является достаточным для обеспечения защиты при контурной схеме расположения заземлителей.

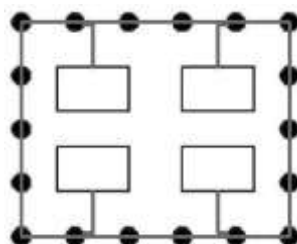


Рисунок 8.3.1 – Схема полученного контурного заземления

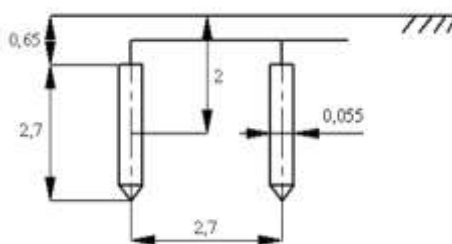


Рисунок 8.3.2 – Схема расположения заземлителей

Разработанные мероприятия и расчеты обеспечивают безопасную эксплуатацию электроустановок в аудитории 241, 8 корпуса ТПУ.

### Освещение:

В аудитории 241, 8 корпуса ТПУ имеется естественное (боковое двухстороннее) и искусственное освещение. Рабочие столы размещены таким образом, чтобы естественный свет падал преимущественно слева.

Освещенность на поверхности стола в зоне размещения рабочего документа должна быть 300 - 500 лк [6]. Освещение не должно создавать бликов на поверхности экрана. Освещенность поверхности экрана не должна быть более 300 лк [6].

В качестве источников света применяются светодиодные светильники или металлогалогенные лампы (используются в качестве местного освещения) [6].

Таблица 8.3.2. Нормируемые показатели естественного, искусственного и совмещенного освещения помещений жилых зданий [6]

Помещение	Рабочая поверхность и плоскость плоскость нормирования КЕО и освещенности и высота плоскости над полом, м	Естественное освещение		Совмещенное освещение		Искусственное освещение		
		КЕО $e_n$ , %		КЕО $e_n$ , %		Освещенность рабочих поверхностей, лк	Показатель дискомфорта М, не более	Коэффициент пульсации $K_p$ , %, не более
		При верхнем или комбинированном освещении	При боковом освещении	При верхнем или комбинированном освещении	При боковом освещении			
Кабинеты	Г-0,0	3,0	1,0	1,8	0,6	300	-	$\leq 5\%$ (раб ЭВМ) $\leq 20\%$

Согласно [17] освещение в аудитории 241 8 корпуса ТПУ соответствует допустимым нормам.

### Шум

При работе с ЭВМ в аудитории 241, 8 корпуса ТПУ характер шума – широкополосный с непрерывным спектром более 1 октавы.

Таблица 8.3.3. Предельно допустимые уровни звукового давления, уровни звука и эквивалентные уровни звука [8]

N пп.	Вид трудовой деятельности, рабочее место	Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц									Уровни звука и эквивалентные уровни звуча ( дБА)
		31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	Научная деятельность, конструирование и проектирование, программирование, преподавание и обучение. Рабочие места в помещениях дирекции, проектно-конструкторских бюро, расчетчиков, программистов вычислительных машин, в лабораториях для теоретических работ и обработки данных.	86	71	61	54	49	45	42	40	38	50

Согласно [17] уровень шума в аудитории 241, 8 корпуса ТПУ не более 80 дБА и соответствует нормам.

## Микроклимат

Для создания и автоматического поддержания в аудитории 241, 8 корпуса ТПУ оптимальных значений температуры, влажности, чистоты и скорости движения воздуха, в холодное время года используется водяное отопление, в теплое время года применяется кондиционирование воздуха.

Аудитория 241, 8 корпуса ТПУ является помещением I б категории. [7]

Таблица 8.3.4. Оптимальные величины показателей микроклимата на рабочих местах производственных помещений

Период года	Катег. работ по уровню энергозатрат	Температура воздуха, °С	Температура поверхностей, °С	Относ. влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	Iб	21-23	20-24	40-60	0,1
Теплый	Iб	22-24	21-25	40-60	0,1

Таблица 8.3.5 Допустимые величины интенсивности теплового облучения

Облучаемая поверхность тела, %	Интенсивность теплового облучения, Вт/м <sup>2</sup> , не более
50 и более	35
25-50	70
не более 25	100

В аудитории проводится ежедневная влажная уборка и систематическое проветривание после каждого часа работы на ЭВМ.

Согласно [17] микроклимат аудитории 241, 8 корпуса ТПУ соответствует допустимым нормам.

### **8.4. Экологическая безопасность**

В данном подразделе рассматривается характер воздействия проектируемого решения на окружающую среду. Выявляются предполагаемые источники загрязнения окружающей среды, возникающие в результате реализации предлагаемых в ВКР решений.

Характер воздействия проектируемого решения на окружающую среду.

Источником загрязнения окружающей среды является газомасляный сепаратор, входящий в состав ДКС ГТУ. Масло которое используется для лучшей компрессии газа, является вредным для окружающей среды. Поэтому предусмотрены специальные подземные резервуары на территории ДКС, в которые масло попадает в случае аварии. Так же поверхность земли укладывается мелким щебнем, на котором хорошо видно возникшие масляные загрязнения.

#### 8.4.1. Анализ влияния объекта исследования на окружающую среду

Конструкция оборудования должна соответствовать требованиям ГОСТ 12.2003-91, «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности (в ред. Федерального закона от 10.07.2012 N117-ФЗ)», а также Федеральным нормам и правилам в области промышленной безопасности «Правила безопасности в нефтяной и газовой промышленности», утвержденным Приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 12.03.2013 № 1012.

Необходимая информация по нанесению поясняющих надписей и знаков безопасности на оборудовании должна быть выполнена в соответствии с ГОСТ Р 12.4-026-2001.

#### 8.4.2. Анализ влияния процесса исследования на окружающую среду

Процесс исследования представляет из себя работу с информацией, такой как технологическая литература, статьи, ГОСТы и нормативно-техническая документация, а также разработка математической модели с помощью различных программных комплексов. Таким образом процесс исследования имеет влияние негативных факторов на окружающую среду. Таких как отходы – использованная бумага, использованные шариковые ручки. Использованная бумага и пластиковые шариковые ручки утилизируется, как вторичное сырье – изготовление картона, пластиковой тары и.т.д. Процесс утилизации негативно влияет на атмосферу, выделяя в нее углекислый газ.



Существующая система фильтрации не может на 100% избавить от выделения вредных веществ в атмосферу. А так же электромагнитное излучение от ПК.

## **8.5. Безопасность в чрезвычайных ситуациях**

### **8.5.1. Анализ вероятных ЧС, которые может инициировать объект исследований и обоснование мероприятий по предотвращению ЧС**

Согласно ГОСТ Р 22.0.02-94 ЧС - это нарушение нормальных условий жизни и деятельности людей на объекте или определенной территории (акватории), вызванное аварией, катастрофой, стихийным или экологическим бедствием, эпидемией, эпизоотией (болезнь животных), эпифитотией (поражение растений), применением возможным противником современных средств поражения и приведшее или могущее привести к людским или материальным потерям".

Наиболее характерными являются ЧС техногенного и экологического характера. Возможными ЧС техногенного характера являются пожары и взрывы на используемом газовом оборудовании. Экологического характера – загрязнение атмосферы, происходящие при сжигании попутного газа факельным методом.

Наиболее типичной чрезвычайной ситуацией, которая может произойти на объекте газодобычи является пожар, возникающий вследствие неисправности газового оборудования является пожар. Категория помещений по пожаровзрывоопасности по СП 12.13130.2009.

В качестве мер по предупреждению пожаров и взрывов на объекте будут использованы следующие меры: проведение противопожарных инструктажей со всеми работниками, с периодичностью не менее одного раза в полугодие; обучение персонала правилам противопожарной безопасности; внедрение инструктивных материалов наглядной агитации, регламентов и норм ведения технологического процесса; периодическая организация про-

тивоаварийных работ и установление порядка ведения работ в аварийных условиях [16].

Для повышения устойчивости к возникновению пожара: периодический осмотр состояния оборудования газового оборудования, при необходимости вывод его в ремонт; содержание в исправном состоянии токоведущих проводников, обеспечение беспрепятственного подхода, подъезда и отхода от оборудования; благоустройство территории, скашивание травы.

В помещениях для оповещения рабочего персонала о наличие ЧС предусмотрено звуковое оповещение, происходящее при срабатывании датчиков на задымление в помещениях. На дверях помещений устанавливаются планы по эвакуации людей из здания и памятка в случае пожара.

В случае возникновения пожара в зданиях необходимо срочно покинуть их, используя основной и запасные пожарные выходы. Необходимо позвонить в пожарную охрану, сообщить свои Ф.И.О., адрес и о месте пожара, оповестить руководство. В случае если пожар находится в начальной стадии, можно попытаться потушить его, используя первичные средства пожаротушения (огнетушители, пожарные рукава, песок, воду и др.). При тушении электроприборов, изначально необходимо их обесточить. Для их тушения предпочтительно использовать огнетушители углекислотного или порошкового типа. [17]. Кроме устранения самого очага пожара нужно, своевременно, организовать эвакуацию людей.

8.5.2. Анализ вероятных ЧС, которые могут возникнуть при проведении исследований и обоснование мероприятий по предотвращению ЧС

При проведении исследований наиболее вероятной ЧС является возникновение пожара в помещении 241, 8 корпуса ТПУ. Пожарная безопасность должна обеспечиваться системами предотвращения пожара и противопожарной защиты, в том числе организационно-техническими мероприятиями.

Основные источники возникновения пожара:

- 1) Неисправное электрооборудование, неисправности в проводке, розетках и выключателях. Для исключения возникновения пожара по этим причинам необходимо вовремя выявлять и устранять неполадки, а также проводить плановый осмотр электрооборудования.
- 2) Электрические приборы с дефектами. Профилактика пожара включает в себя своевременный и качественный ремонт электроприборов.
- 3) Перегрузка в электроэнергетической системе (ЭЭС) и короткое замыкание в электроустановке.

Под пожарной профилактикой понимается обучение пожарной технике безопасности и комплекс мероприятий, направленных на предупреждение пожаров.

Пожарная безопасность обеспечивается комплексом мероприятий:

- обучение, в т.ч. распространение знаний о пожаробезопасном поведении (о необходимости установки домашних индикаторов задымленности и хранения зажигалок и спичек в местах, недоступных детям);
- пожарный надзор, предусматривающий разработку государственных норм пожарной безопасности и строительных норм, а также проверку их выполнения;
- обеспечение оборудованием и технические разработки (установка переносных огнетушителей и изготовление зажигалок безопасного пользования).

В соответствии с ТР «О требованиях пожарной безопасности» для административного жилого здания требуется устройство внутреннего противопожарного водопровода.

Согласно ФЗ-123, НПБ 104-03 «Проектирование систем оповещения людей о пожаре в зданиях и сооружениях» для оповещения о возникновении пожара в каждом помещении должны быть установлены дымовые оптико-электронные автономные пожарные извещатели, а оповещение о пожаре

должно осуществляться подачей звуковых и световых сигналов во все помещения с постоянным или временным пребыванием людей.

Аудитория 241, 8 корпуса ТПУ оснащена первичными средствами пожаротушения: огнетушителями ОУ-3 1шт., ОП-3, 1шт. (предназначены для тушения любых материалов, предметов и веществ, применяется для тушения ПК и оргтехники, класс пожаров А, Е.).

Таблица 5.8 – Типы используемых огнетушителей при пожаре в электроустановках

Напряжение, кВ	Тип огнетушителя (марка)
До 1,0	порошковый (серии ОП)
До 10,0	углекислотный (серии ОУ)

Согласно НПБ 105-03 помещение, предназначенное для проектирования и использования результатов проекта, относится к типу П-2а.

Таблица 5.9. Категории помещений по пожарной опасности

Категория помещения	Характеристика веществ и материалов, находящихся (обращающихся) в помещении
П-2а	Зоны, расположенные в помещениях, в которых обращаются твердые горючие вещества в количестве, при котором удельная пожарная нагрузка составляет не менее 1 мегаджоуля на квадратный метр.

В корпусе 8 ТПУ имеется пожарная автоматика, сигнализация. В случае возникновения загорания необходимо обесточить электрооборудование, отключить систему вентиляции, принять меры тушения (на начальной стадии) и обеспечить срочную эвакуацию студентов и сотрудников в соответствии с планом эвакуации.



Рисунок 3. План эвакуации людей на случай пожара.

Вывод:

В результате выполнения задания раздела «Социальная ответственность и ресурсосбережение» ВКР были выявлены и проанализированы вредные факторы при разработке программного модуля.

Были установлены правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности, характерные для рабочей зоны.

Проработаны организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.

Разработаны мероприятия по снижению воздействия вредных и опасных факторов.

Был рассмотрен характер воздействия проектируемого решения на окружающую среду. Были выявлены предполагаемые источники загрязнения окружающей среды, возникшие в результате реализации предлагаемых в магистерской диссертации решений.

Можно сделать вывод, что создание магистерская диссертация не является экологически безвредным действием. Так как процесс сопровождается созданием отходов от проектной деятельности.

А так же процесс написания магистерской диссертации не является абсолютно безвредным для человека. Так как в процессе написания магистер-

ской диссертации человека сопровождают такие вредные факторы, как электромагнитное излучение от ПК и плохая освещенность рабочей зоны.

Были проанализированы вероятные ЧС, которые может инициировать объект исследований и обоснованы мероприятия по предотвращению ЧС.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

В работе рассмотрен и рассчитан частотно–регулируемый электропривод компрессора дожимной компрессорной станции ГТУ.

На основе действующего оборудования, выбран электродвигатель, предназначенный для частотного регулирования, и преобразователь частоты, обеспечивающий требуемый набор функций управления.

В качестве способа управления выбрано скалярное управление. В ходе работы рассчитаны и построены электромеханические и механические характеристики электропривода и нагрузки, на основании которых была проведена проверка правильности выбора двигателя и преобразователя.

Путем имитационного моделирования исследованы переходные процессы скорости и момента для режима пуска сброса и наброса нагрузки на валу двигателя. Данные, полученные при моделировании в среде MATLAB Simulink, практически совпали с расчетными значениями в среде MathCad.

В результате проведенного исследования, было установлено, что РАЭД в составе ДКС является менее энергозатратным, достоверность этих данных подтверждаются моделированием в программной среде Matlab – рисунок 6.2 и 6.3. А так же проделанными расчетами в разделе ВКР «финансовый менеджмент и ресурсосбережение».

Спроектированный электропривод является отличной заменой оборудованию, используемому в настоящее время для подготовки топливного газа.

## ПРИЛОЖЕНИЕ А

```

Pn=200000; %Мощность двигателя
n0=3000; %частота вращения XX
kpd=0.948;
cosf=0.92;
sn=0.0091; %скольжение
mpusk=1.8;
f=50; % частота питающей линии
Wref = 2*pi*f;
zp=1;
mkrit=2.2;%перегрузка по моменту
mmin=0.8;
kidv=7.1; %перегрузка по току
Jdv=2.35; %момент инерции
nn=(1-sn)*n0; %частота вращения номинальная
w0=(pi*n0)/30; %скорость вращения XX
wn=(1-sn)*w0; %скорость вращения номинальная
Mdv=Pn/wn; %Номинальный момент двигателя
Uf=220; % Номинальное фазное напряжение
Mk=mkrit*Mdv; %Критический момент двигателя на естественной характеристике
Mpusk=mpusk*Mdv;% Пусковой момент двигателя при прямом пуске
I1fn=Pn/(3*Uf*cosf*kpd); %номинальный фазный и линейный ток
I1max=kidv*I1fn; %максимальный потребляемый ток
I1l=264.705;
I0=74.98;
B=1;
Sk=sn*((mkrit+sqrt(mkrit^2-(1-2*sn*B*(mkrit-1))))/(1-2*sn*B*(mkrit-1)));
%критич скольжение
C1=1+(I0/(2*kidv*I1fn));
A1=(3*(Uf^2)*(1-sn))/(2*C1*mkrit*Pn);
R2=A1/((B+1/Sk)*C1);% Активное сопротивление ротора, приведенное к обмотке
статора
R1=C1*R2*B;%Активное сопротивление статорной обмотки
y=sqrt((1/Sk^2)-B^2);
Xkn=y*C1*R2; %Сопротивление короткого замыкания
X2=(0.58*Xkn)/C1;%Индуктивное сопротивление рассеяния роторной обмотки, при-
веденное к статорной
X1=0.42*Xkn;%Индуктивное сопротивление рассеяния статорной обмотки
Em=sqrt(((Uf*cosf-R1*I1fn)^2)+((Uf*sqrt(1-cosf^2)-X1*I1fn)^2));%ЭДС ветви на-
магничивания
Xm=Em/I0;%Индуктивное сопротивление намагничивания
Ld1=X1/(2*pi*f);%Индуктивность рассеяния статорной обмотки
Ld2=X2/(2*pi*f);%Индуктивность рассеяния роторной обмотки
Lm=Xm/(2*pi*f);%Индуктивность ветви намагничивания
L1=Ld1+Lm; %Полная индуктивность цепи статора
L2=Ld2+Lm; %Полная индуктивность цепи ротора
Kr=Lm/L2;
Le=L1-(Lm^2)/L2;
Re=R1+R2*Kr^2;
Ar=R2/L2;
Km=(3/2)*Kr*zp;
friction=0.005752;
Ts_HW=0.0002;
Mc0 = 15.387;

```



## ПРИЛОЖЕНИЕ Б

### Раздел 6

## **Variable frequency drive compressor**

---

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5AM87	Майков Роман Андреевич		

Консультант школы отделения (НОЦ) ИШЭ, Отделение электроэнергетики и электротех-  
ники:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Данекер В.А.	к.т.н.		

Консультант – лингвист отделения (НОЦ) школы \_\_\_\_\_ Отделение иностранных языков  
школы базовой инженерной подготовки:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Качалов Николай Александрович	к.п.н		

## INTRODUCTION

Nowadays, providing affordable electricity and heat to the consumer is an important task. One of the ways to ensure electricity consumption is the use of gas turbine units (GTU).

Natural gas (GHG) is used as fuel for gas turbines. The gas is mixed in the gas turbine combustion chamber, where the air-fuel mixture ignites. Jets of hot gas rotate the blades of a turbine that generates electricity.

The use of special equipment does not allow to achieve the rated power of the power plant (ES) and leads to wearing of the equipment. In order to achieve the gas turbine its rated power, it is necessary to fulfill a number of requirements. There are direct requirements, such as:

- Removal of mechanical particles
- Providing dew points (for water and hydrocarbons)
- Component composition and methane number of fuel gas (FG)
- Ensuring the required level of pressure of FG in the combustion chamber of the gas turbine

In order to improve the quality of gas turbines for gas turbine engines, booster compressor stations (BCS) are used. The main component of the BCS is an electrically driven compressor.

An electric drive is an electromechanical system that needs electric power converters, electromechanical and mechanical converters, control and information devices, and related devices with electrical, mechanical, control and information forces designed to carry out operations in executive bodies of power machines and controlling this movement for process purposes. At present, the stage of development of a modern electric drive is a transition from an unregulated electric drive to an adjustable one [1].

The purpose of the thesis: the development of a control device for an asynchronous electric drive of a compressor of the BCS of a GTU, which can significantly reduce ED costs and save electricity.

To achieve this goal, it is necessary to solve a number of tasks.

### 1. Analysis of the current state of electrical equipment of gas turbines.

Currently, the control system of the BCS of a gas turbine consists of:

- Digital controller;
- Bypass valve with electro-pneumatic actuator;
- Screw compressor with a spool.

The system is specially selected for gas turbine operation. It consists of two closed control loops. The first circuit controls the position of the spool and allows you to control performance in the range from 15 to 100%. This is quite effective work even with partial loads. The second circuit is bypassed valve control system that prevents overpressure in the compressor system.

### 2. Analysis of the advantages and disadvantages of the production control system using the spool mechanism.

Benefits:

- Fast response and precision control system.

Disadvantages:

- High starting currents of an asynchronous electric motor (AEM) as part of the gas turbine compressor station;
- Large losses of electricity;
- High fuel costs.

### 3. Development of a simulation model of a controlled asynchronous electric drive (CAED) of a gas turbine engine in a Matlab software environment.

The scientific novelty of the work lies in the study of the operation models of the CAED of the BCS of a GTU in the Matlab software environment.

The practical value of the work is:

- Decrease in starting currents of the asynchronous electric motor (AEM), as part of the gas turbine compressor station;
- Decrease in losses of the electric power;
- Fuel economy.

The reliability of the results is confirmed in the section of the thesis  
"Financial management and resource conservation."

## **1. GENERAL PRODUCT INFORMATION**

### **1.1 Purpose and principle of operation of BCS**

Let us consider the technological process and technological equipment for supplying gas to the gas turbine combustion chamber.

As a booster compressor, an oil-filled twin-rotor screw compressor with performance control by the frequency converter of asynchronous electric motor system was used.

The main equipment of the booster compressor station:

- 1 - Gas-oil separator.
- 2 - Asynchronous electric motor.
- 3 - Screw compressor.
- 4 - Block screw pump (oil pump).

Description of technological process (TP):

Technological process of gas supply to the combustion chamber of a gas turbine installation:

The screw compressor is a part of the automated complex Booster Compressor Station (BCS). The complex operates as part of the GTU power unit.

Gas compression occurs in a screw compressor with oil injection into the compression area, which allows for the sealing and lubrication of rotors, as well as primary gas cooling.

After compression in a screw compressor, the gas-oil mixture enters the first separation stage in a gas-oil separator, where the main separation of oil from gas takes place. After separation, the gas enters the gas-liquid heat exchanger, where it is cooled to a predetermined temperature, then the gas with the residual oil content enters the gas filter in the second stage separator, in which the gas is completely cleaned of oil and mechanical impurities.

BCS is controlled directly through local control systems in the control compartment of each compressor or by upper-level PTC commands.

The compressor unit is equipped with an electric drive based on an asynchronous electric motor and frequency converter, lubrication, cooling and

filtering systems. The installation is mounted in a noise-proof container equipped with heating, ventilation, fire detection and fire extinguishing systems, as well as gas detection systems.

Description of the technological process (TP) of the fuel mixture supply to the gas turbine combustion chamber:

The gaseous fuel supply system regulates the fuel pressure and automatically changes the fuel consumption in accordance with the required power of the turbine.

The gaseous fuel supply system performs the following functions:

- Controlled supply of gaseous fuel of the required pressure to the nozzles of the gas turbine.
- Immediate shutdown of the supply of FG to the turbine combustion chamber in emergency situations.

Gaseous fuel is supplied to the turbine from the regular gas pipeline of the station through the pressure control unit. The standard turbine fuel system is designed to use natural gas.

The compressor rotor is dynamically balanced and has an equal-hanging drum to reduce axial runout. To prevent gas leaks, pressure-balanced mechanical seals are installed. Both rotors have oblique teeth with an asymmetric profile, which are in the same house and have a slight clearance to each other.

## **1.2 Analysis and classification of technological variables, control actions, measuring points, control and management.**

Compiling a list of measured technological variables and control actions, determining the required measurement and control accuracy, as well as the environment and operating conditions of measurement and control devices:

Sensitive parts of sensors in contact with an external aggressive environment should be made of corrosion-resistant materials or have an environmental separator for protection.

The sensors used in the automatic control system (ACS) must comply with the requirements of explosion safety and have intrinsically safe circuits.

The level of protection of technical devices from dust and moisture should be at least IP56.

Necessary measuring devices:

- Voltage sensor.
- Pressure sensor.
- Flowmeter.

### **1.3 Analysis of the correlation between technological variables, the definition of the basic requirements for conducting processes the formulation of quality criteria and management objectives.**

The necessary technical characteristics of the compressor for successful ignition of the fuel mixture and start-up of the gas turbine with the latter entering the normal operation mode are presented in Table 1.3.1.

Productivity, m <sup>3</sup> / hour	0...800
Inlet gas pressure, kgf / cm <sup>2</sup>	2,0...5,0
Gas pressure at the exit, kgf / cm <sup>2</sup>	11,0...13,0
Inlet gas temperature, ° C	20,0...40,0
Outlet gas temperature, ° C	+10...+35

## 2. CALCULATION AND SELECTION OF REGULATED ELECTRIC DRIVE EQUIPMENT

It is necessary to choose an induction motor that will satisfy the above requirements to ensure the required pressure level.

### 2.1 Design parameters of the engine

We calculate the required electric motor power based on the data given in Table 1.3.1.

$$P_{eng} = k_3 \cdot \frac{Q \cdot A}{\eta_k \cdot \eta_n} \quad (1)$$

$$P_{eng} = 1,3 \cdot \frac{0,22 \cdot 350}{0,68 \cdot 0,78} = 188,725 \text{ kW}$$

We select an explosion-proof electric motor: AIMU 315 280 M2.

Producer: Open Society "Orlan".

Overall and mounting dimensions of ED AIMU 315 280 M2 are presented in Figure 2.1.1.

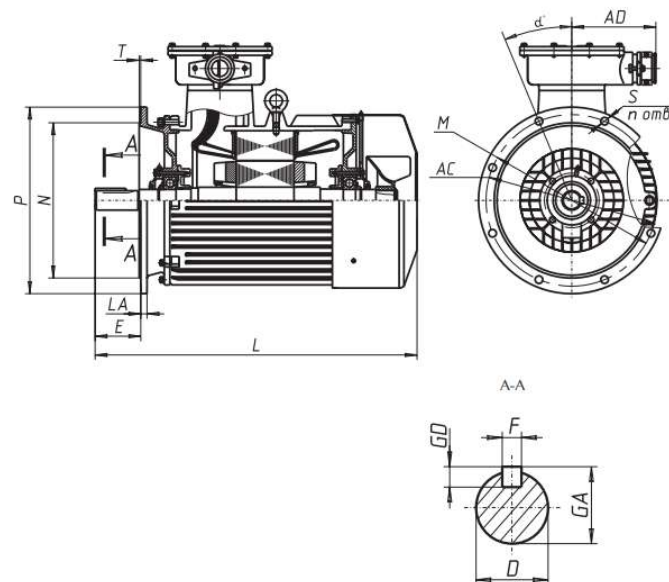


Figure 2.1.1. - Overall connecting dimensions of ED AIMU 315 280 M2.

Table 1. Motor datasheet



The size	$n_0, \frac{\text{об}}{\text{мин}}$	$U_{1H}, \text{В}$	$P_{nom}, \text{kW}$	При номинальной нагрузке			$J, \text{kg} \cdot \text{m}^2$
				$s_{nom}, \%$	$\cos \varphi_{nom}$	$\eta_{nom}, \%$	
АИМУ 315 М2	3000	380	200	0,91	0,92	94,8	2,5

Synchronous angular engine speed

$$\omega_0 = \frac{\pi \cdot n_0}{30} = \frac{3.14 \cdot 3000}{30} = 314,159 \frac{\text{rad}}{\text{s}}.$$

Rated engine speed

$$n_{дв.н} = (1 - s_H) \cdot n_0 = (1 - 0.0091) \cdot 3000 = 2972 \text{ rpm};$$

$$\omega_{eng} = \frac{n_{eng}}{9.55} = \frac{2972}{9.55} = 311.3 \frac{\text{rad}}{\text{s}}.$$

Rated motor torque

$$M_{eng} = \frac{P_{eng} \cdot 10^3}{\omega_{eng}} = \frac{200 \cdot 10^3}{311.3} = 642,46 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Rated phase voltage and rated stator phase current. To determine the nominal phase current, it is necessary to know the connection circuit of the stator windings. Compound windings unknown compound accept Y.

$$I_1 = I_1 = \frac{P}{3 \cdot U_1 \cdot \cos \varphi \cdot \eta} = \frac{200 \cdot 10^3}{3 \cdot 220 \cdot 0.91 \cdot 0.948} = 347,448 \text{ A}.$$

Note:  $I_{1нн}$  – the current consumed by the motor from the network in the nominal mode of operation.

Maximum current consumption of the motor during the direct start

$$I_{1M} = I_{1H} \cdot K_i = 347,448 \cdot 7,1 = 2466,8 \text{ A.}$$

Engine torque at the natural response

$$M_k = m_k \cdot M = 2,2 \cdot 642,46 = 1413,4 \text{ H} \cdot \text{m}.$$

Engine starting torque at direct start

$$M_{\text{start}} = m \cdot M = 1,8 \cdot 642,46 = 1156,42 \text{ H} \cdot \text{m}.$$

Determination of the parameters of the equivalent circuit of the engine

The simplest and most convenient for engineering calculations of an induction motor is a T-shaped equivalent circuit, shown in Figure 4 [2].

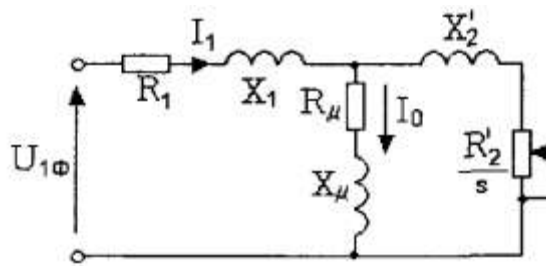


Figure 4. Asynchronous motor equivalent circuit

Partial stator phase current

$$I_{1p*} = \frac{p^* \cdot P}{\sqrt{3} \cdot U_1 \cdot \cos \varphi_{p*} \cdot \eta_{p*}} = \frac{0,75 \cdot 200000}{\sqrt{3} \cdot 220 \cdot 0,907 \cdot 0,94} = 264,7 \text{ A},$$

$\cos \varphi_{p*} = 0.907$  – power factor at partial load [2];

$\eta_{p*} = 0.94$  – Efficiency at partial load [2];

$p^* = 0.75$  – engine load factor [2].

Asynchronous motor no-load current

$$I_0 = I_1 \cdot \sqrt{\frac{\left(\frac{I_{1p^*}}{I_{1H}}\right)^2 \cdot \left[\frac{p^* \cdot (1 - s_H)}{(1 - p^* \cdot s_H)}\right]^2}{1 - \left[\frac{p^* \cdot (1 - s_H)}{(1 - p^* \cdot s_H)}\right]^2}} = 70,982 \text{ A}$$

From the Kloss equation, we determine the ratio for calculating the critical slip.

$$s_K = s_H \cdot \frac{m_k + \sqrt{(m_k)^2 - [1 - 2 \cdot s_H \cdot \beta \cdot (m_k - 1)]}}{1 - 2 \cdot s_H \cdot \beta \cdot (m_k - 1)} = 0.039,$$

where  $\beta$  is the coefficient characterizing the ratio of active resistances of the stator and the rotor, taken  $\beta = 1$ .

The active resistance of the rotor, reduced to the stator winding of the induction motor.

$$R_2' = \frac{3 \cdot U_1^2 \cdot (1 - s_H)}{2 \cdot m_k \cdot P \cdot C_1^2 \cdot \left(\beta + \frac{1}{s_K}\right)} = 0.00591 \text{ Om},$$

$$C_1 = 1 + \frac{I_0}{2 \cdot K_i \cdot I_1} = 1.015 - \text{coefficient characterizing the ratio } \frac{X_\mu + X_{1\delta}}{X_\mu};$$

Active resistance of the stator winding

$$R_1 = C_1 \cdot R_2' \cdot \beta = 0,006 \text{ Om}.$$

Determine the parameter  $\gamma$ , which allows you to find the inductive short circuit resistance  $X_{KH}$

$$\gamma = \sqrt{(1/s_K^2) - \beta^2} = \sqrt{(1/0.039^2) - 1^2} = 25,7,$$

then the inductive short circuit impedance

$$X_{KH} = \gamma \cdot C_1 \cdot R_2' = 0.155 \text{ Om.}$$

The inductive resistance of the stator winding

$$X_{1\delta} = 0.42 \cdot X = 0.065 \text{ Om.}$$

The inductance of the stator winding, due to the leakage flux, in nominal mode

$$L_{1\delta} = \frac{X_{1\delta}}{2 \cdot \pi \cdot f_1} = 2,071 \cdot 10^{-4} \text{ Hn.}$$

Led to the stator winding inductive dissipation resistance of the rotor winding in nominal mode

$$X_{2\delta}' = 0.58 \cdot \frac{X}{C_1} = 0.089 \text{ Om.}$$

The reduced inductance of the rotor winding due to the leakage flux in nominal mode

$$L_{2\delta}' = \frac{X_{2\delta}'}{2 \cdot \pi \cdot f_{1H}} = 2,817 \cdot 10^{-4} \text{ Hn.}$$

The EMF of the magnetization branch E 1 induced by the air gap flow in the stator winding in nominal mode,

$$E_1 = \sqrt{(U_{1H} \cdot \cos \varphi - R_1 \cdot I_{1H})^2 + (U_{1H} \cdot \sin \varphi - X_{1\delta} \cdot I_{1H})^2} = 210,171 \text{ V,}$$

then the inductive magnetization resistance

$$X_{\mu} = \frac{E_1}{I_0} = 2,803 \text{ Om.}$$

The resulting inductance due to the magnetic flux in the air gap

$$L_{\mu} = \frac{X_{\mu}}{2 \cdot \pi \cdot f_{1H}} = 0.00892 \text{ Hn.}$$

Check the adequacy of the calculated parameters of the engine

With the parameters found, the values of the nominal electromagnetic torque of the motor are calculated:

$$M_{\text{эм.н}}(s_H) = M = \frac{3 \cdot U_{1\phi H}^2 \cdot R_2'}{\omega_0 \cdot s_H \cdot \left[ (X_{\mu})^2 + \left(R_1 + \frac{R_2'}{s_H}\right)^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2'}{s_H \cdot X_{\mu}}\right)^2 \right]} = 660,9 \text{ H} \cdot \text{м};$$

$$M_{\text{эм.н}}^* = \frac{3}{2} \cdot z_p \cdot \frac{L_{\mu}}{(L_{\mu} + L_{2\delta})} \cdot \Psi_{2H} \cdot \sqrt{2} \cdot \sqrt{I_{1H}^2 - I_0^2} = 660,048 \text{ H} \cdot \text{м},$$

$$\Psi_{2H} = \sqrt{2} \cdot I_0 \cdot L_{\mu} = 0.928 \text{ Вб}.$$

The following conditions must be met:

$$M^* \leq (1.05 \div 1.1) \cdot M = (1.05 \div 1.1) \cdot 642,466 = (674,5 \div 706,713) \text{ H} \cdot \text{м}.$$

According to the results of the calculation, these conditions are fulfilled [1]

The parameters of the equivalent circuit of the electric motor are summarized in Table 3.

Table 3. Motor Circuit Parameters

$R_1$ , Ом	$X_{1\delta}$ , Ом	$L_{1\delta}$ , Hn	$X_{\mu}$ , Ом	$L_{\mu}$ , Hn	$R_2'$ , Ом	$X_{2\delta}'$ , Ом	$L_{2\delta}'$ , Hn	$X_{\sigma}$ , Ом
0,006	0,065	$2,07 \cdot 10^{-4}$	2,803	0,0089	0.0059	0,089	$2,81 \cdot 10^{-4}$	0.155

Selecting the type of converter and speed control method

When choosing a frequency converter for a three-phase asynchronous motor with a nominal voltage of 220 V phase windings and connecting the windings according to the Y scheme, you should follow the recommendations given below [3].

1. Power supply parameters: 3-phase network 380/220 V, 50 Hz.

2. Output parameters of the frequency converter:

- 3 phases;
- maximum output (linear) voltage 380 V;
- maximum output frequency converter

$$f > 50 \cdot \frac{\omega}{\omega_0 \cdot (1 - s_K)} = 50 \cdot \frac{314.15}{314.15 \cdot (1 - 0.039)} = 52,02 \text{ Hz}$$

- minimum output frequency converter

$$f < 50 \cdot \frac{\omega}{\omega_0} = 50 \cdot \frac{31.4}{314.15} = 5 \text{ Hz} .$$

3. Choose a converter for the nominal (long-term allowable) current and maximum (short-term allowable) current where - the coefficient of permissible inverter overload current, according to the following conditions:

- in one-zone electric drive

$$I \geq I_1 \cdot \frac{M}{M} \geq 347,44 \cdot \frac{642,46}{642,46} = 347,44 \text{ A} ;$$

$$I \geq I_1 \cdot \frac{2 \cdot M}{M} \geq 347,44 \cdot \frac{2 \cdot 642,46}{642,46} = 694,88 \text{ A} .$$

Accept control method - scalar without the speed sensor. According to the selected control method, select the converter.

The parameters of the selected frequency converter are summarized in Table 4 [4].

Table 4. Passport data frequency Converter Company SIEMENS Micromaster 430

Standard size	Standard size	Standard size	Standard size	Standard size	Standard size	Standard size	Standard size	Standard size
70.33	200	370	337	694	440	407	5,05	180

Inverter carrier frequency selection  $f_{\text{ШИМ}}$  carried out in accordance with the recommendations of the manufacturer for the selected type of converter, taking into account the actual load current [3].

## CONCLUSION

The frequency – controlled electric drive of the compressor of the BCS of the fuel gas treatment plant was considered and calculated in the following work. Based on the working equipment, an electric motor is used, which is used to control the frequency, and a frequency converter, which provides the necessary set of control functions.

Scalar control is selected as the control method. In the course of the work, the electromechanical and mechanical characteristics of the electric drive and the load were calculated and constructed, on the basis of which the correctness of the choice of the motor and converter were checked.

By means of simulation modeling, the transients of speed and moment for the mode of starting the pump and loading the load on the motor shaft are investigated.

The data obtained in the simulation in the MATLAB Simulink environment almost coincided with the calculated values in the Mathcad environment.

Designed electric drive is an excellent substitute for equipment currently used for the preparation of fuel gas.



## REFERENCES

1. Jingjing Zhang, Ming Ding, Xianjun Qi, Yi Guo “Research on Hidden Failure Reliability Modeling of variable frequency drive”, *Energy and Power Engineering*, 2013.
2. G. Phadke and J. S. Thorp, “Variable frequency drive for power systems”, In second edition, Research Studies Press Ltd and John Wiley & Sons, 2009
- A.G. Phadke, “Hidden failures in electric power systems”, *International Journal of Critical Infrastructures*, January 2004.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Мальцева О.П., Удут Л.С., Кояин Н.В. Системы управления асинхронных частотно-регулируемых электроприводов. – Томск: Изд. ТПУ, 2011. – 476с.
2. Электронный каталог [Электронный ресурс]: база данных содержит сведения о винтовом компрессоре Режим доступа: <http://compressor02.ru/vintovye> <http://www.fiak.ru/articles.phtml?art=39>, дата обращения 20.02.2019.
3. Удут Л.С., Мальцева О.П., Кояин Н.В. Проектирование и исследование электроприводов. Часть 8. – Асинхронный частотно-регулируемый электропривод: Учебное пособие. – Томск: Изд. ТПУ, 2010. – 448 с.
4. Преобразователи частоты для одно- и многодвигательных электроприводов мощностью от 2.2 кВт до 230 кВт. Каталог DA65.10.201 –[www.siemens.de/masterdrive vector control](http://www.siemens.de/masterdrive_vector_control)
5. Электротехнический справочник: В 4т. Т.4. Использование электрической энергии / под общей редакцией профессора МЭИ Герасимова В.Г. и др. (гл. ред. Попов А.И.). – 8-е изд., испр. и доп. – М.: издательство МЭИ, 2002. – 696 с.
6. Чернышев А.Ю., Кояин Н.В. Проектирование электрических приводов: Учебно-методическое пособие. – Томск: Изд-во ТПУ, 2005. – 120 с.
7. Удут Л. С., Мальцева О.П., Кояин Н.В. Проектирование и исследование электроприводов. Часть 4. – тиристорные преобразователи для электроприводов постоянного тока: Учебное пособие. – Томск: Изд. ТПУ, 2002. – 152 с.
8. Удут Л. С., Мальцева О.П., Кояин Н.В. Проектирование и исследование автоматизированных электроприводов. Часть 5. –Применение программы DORRA-FUZZY в расчётах электроприводов постоянного тока: Учебное пособие. – Томск: Изд. ТПУ, 2002. – 156 с.

9. Дементьев Ю.Н., Чернышев А.Ю., Чернышев И.А. Электрический привод: учебное пособие. –Томск: Изд-во ТПУ, 2008. – 244 с.
10. Белов М. П., Новиков В. А., Рассудов Л. Н. Автоматизированный электропривод типовых производственных механизмов и технологических комплексов: Учебник для вузов. – М.: Издательский центр «Академия», 2004. – 576 с.
11. Справочник по автоматизированному электроприводу/ Под ред. В.А.Елисеева и А.В. Шинянского.- М.: Энергоатомиздат, 1983.-616 с. ил.
12. Методические указания по разработке раздела «Социальная ответственность» выпускной квалификационной работы магистра, специалиста и бакалавра всех направлений (специальностей) и форм обучения ТПУ, Томск 2019.
13. ГОСТ 12.0.003-2015 Опасные и вредные производственные факторы. Классификация, 2015.
14. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03 Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий, 2003 .
15. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы, 2003.
16. СанПиН 2.2.4.1191-03 Электромагнитные поля в производственных условиях, 2003.
17. СП 52.13330.2011 Естественное и искусственное освещение, 2011
18. СанПиН 2.2.4.548–96 Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений, 1996.
19. СН 2.2.4/2.1.8.562–96, Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки, 1996.